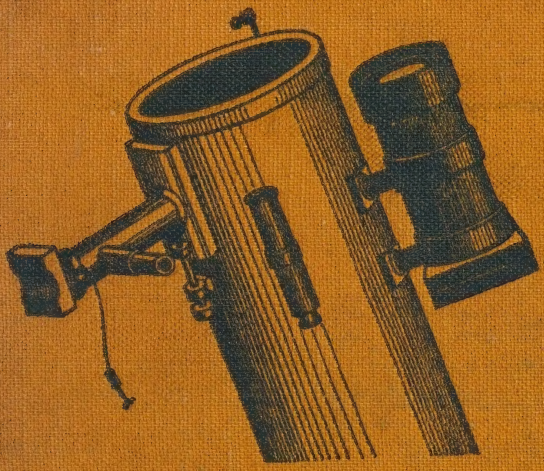


H. J. Gramatzki

HILFSBUCH DER ASTRONOMISCHEN PHOTOGRAPHIE

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

FERD. DÜMMLER'S VERLAG • BERLIN u. BONN

GRAMATZKI
Hilfsbuch d. astronom. Photographie
(Ferd. Dümmlers Verlag · Berlin u. Bonn)

Druckfehler und Berichtigungen:

S. 14 in der Formel und in Z. 6 v. o. hier n (statt 1)

S. 30, Z. 4 v. u. lies: Dispersionswinkel

S. 30, Z. 2 v. u. lies: 404,7 (statt 407); ebenso

S. 31, Z. 2 v. o. lies: 404,7 (statt 407)

S. 33 in der Formel lies $+f_2$ (statt $-f_2$)

S. 57 im Eberhard'schen Rezept lies überall: Ferrosulfat (Eisenvitriol) statt Ferrooxalat

S. 70, Z. 18 v. o. lies Abb. 9 (statt Abb. 16)

GRAMATZKI
Hilfsbuch d. astronom. Photographie
(Ferd. Dümmlers Verlag · Berlin u. Bonn)

Druckfehler und Berichtigungen:

S. 14 in der Formel und in Z. 6 v. o. hier n (statt 1)

S. 30, Z. 4 v. u. lies: Dispersionswinkel

S. 30, Z. 2 v. u. lies: 404,7 (statt 407); ebenso

S. 31, Z. 2 v. o. lies: 404,7 (statt 407)

S. 33 in der Formel lies $+f_2$ (statt $-f_2$)

S. 57 im Eberhard'schen Rezept lies überall: Ferrosulfat (Eisenvitriol) statt Ferrooxalat

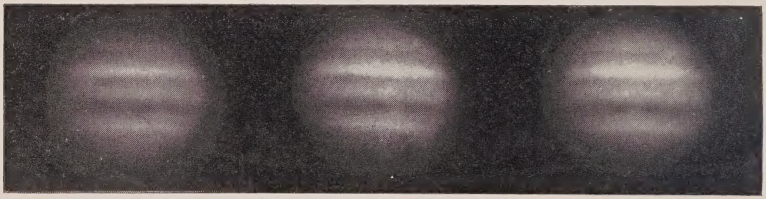
S. 70, Z. 18 v. o. lies Abb. 9 (statt Abb. 16)

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/hilfsbuchderastr00gram

Mond 1928 März 1 $21^h\ 30^m$.

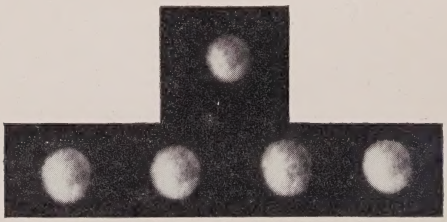
Moment-Aufnahme von V. Hoffmann mit Spiegelteleskop auf Agfa Ultraspecial bei feststehendem Rohr (vgl. S. 63).



$0^h\ 55^m$ $1^h\ 17^m$ $1^h\ 42^m$.

Jupiter 1928 Sept. 17 (Weltzeit).

Aufnahmen des Verfassers mit einem Spiegelplanetographen (182 mm Öffnung) der Astrogesellschaft auf Hauff-Diapositivplatte (vgl. S. 73).



Mars m. d. Groß. Syrte u. d. cimmerisch. Meer 1929 Jan. 21. $19^h\ 30^m$ W.Z.

Aufnahmen des Verfassers mit dem gleichen Spiegelplanetographen auf Perutz-Silbereosinplatte durch Gelbfilter Schott G. G. 6, 2 mm stark, Belichtung 4 Sek. (vgl. S. 73).

Astron
G

Hilfsbuch der astronomischen Photographie

von

Ob.-Ing. H. J. Gramatzki

Mit einem Titelbild und 29 Abbildungen

25-1773
Z. 31
24

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN UND BONN · 1930

Alle Rechte vorbehalten

Printed in Germany

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

Vorwort

Die moderne Astronomie ist ohne das photographische Dokument undenkbar. Dies allein genügt, um darzutun, daß auch der Liebhaberastronom sich mit der Himmelsphotographie beschäftigen muß, wenn die Ergebnisse dieses Zweiges der astronomischen Forschung ihm durch das Eigenerlebnis zum vertieften Wissen werden sollen.

Ganz abgesehen davon, daß z. B. das große und so überaus wichtige Gebiet der Spektroskopie der visuellen Beobachtung mit kleinen und mittleren Instrumenten praktisch unzugänglich ist, photographisch hingegen mit relativ kleinen optischen Hilfsmitteln erschlossen werden kann, ist die astronomische Photographie mehr als nur eine Ergänzung der visuellen Beobachtung; sie ist eine Technik für sich, deren Erlernung und Beherrschung den Liebhaberastronomen mit der Physik und der Chemie in eine für die Erweiterung seines Wissens und Könnens überaus fruchtbare Beziehung bringt.

Der photographierende Liebhaberastronom wird im Gegensatz zu der Mehrzahl der Amateurphotographen seine Platten stets selber entwickeln und gelegentlich auch sensibilisieren. Aus diesem Grunde sind die Entwickler und die Sensibilisierungsbäder so ausführlich behandelt worden, als es der Rahmen des Buches zuließ, und im übrigen auf die Literatur hingewiesen worden. Das Arbeiten mit Kollodiumplatten ist ebenfalls beschrieben, da sie wegen der sehr geringen Kosten ihrer Herstellung selbst bei Verwendung großer Formate die Ausführung von Versuchen ermöglichen, die bei Verwendung von Trockenplatten unerschwingliche Kosten verursachen würden.

Im Hinblick auf die hervorragenden Mond- und Planetenaufnahmen mit den amerikanischen Rieseninstrumenten ist besonders darauf hingewiesen worden, daß diese Aufnahmen kaum 6% dessen wiedergeben, was der Definitionskraft dieser Instrumente entspricht. Wegen seiner erheblich geringeren Empfindlichkeit gegen Luftunruhe vermag das kleine Instrument prozentual sehr viel mehr zu leisten, und es ist praktisch nicht ausgeschlossen, daß mit Spiegeln von acht bis zehn Zoll Durchmesser die Leistungen jener Rieseninstrumente nahezu erreicht werden. Damit würde das sehr interessante Gebiet der photographischen Photometrie der Planetenoberflächen dem Liebhaberastronomen erschlossen werden.

Die astronomische Photographie bietet ferner die Möglichkeit, im Unterricht die Astronomie enger an Physik und Chemie anzuschließen, als dies mit der visuellen Beobachtung möglich ist.

Den Herren Dr. H. Kreusler, Prof. Dr. J. Hopmann und Oberstudienrat Dr. W. Volkmann spreche ich meinen verbindlichsten Dank für ihre wertvollen Anregungen und Hinweise aus, ebenso dem Verlage für die Ausstattung des Buches, besonders im Hinblick auf die vielen Wiedergaben photographischer Aufnahmen.

Berlin-Friedenau, 15. August 1929.

H. J. Gramatzki.

Inhaltsverzeichnis

Seite

VORWORT 5

EINLEITUNG. Die astronomische Photographie als Urkunde — Überlegenheit der photographischen Methode gegenüber der visuellen Beobachtung bei Sternspektren — Die photographische Mondkarte 9

Die optischen Hilfsmittel der astronomischen Photographie

DIE LOCHKAMERA 11

DIE LINSENOPTIK 13

Brennweite und Schnittweite 13 — Die einfache Linse 16 — Der Achromat 18 — Der Refraktor — Die photographischen Objektive 19 — Die Kassetten 22 — Die Brennweiten-Verlängerungslinse 25 — Brennweiten-Verkürzer 27 —

DAS PRISMA. Einstellung — Dispersionstabelle — Brennebenenverschiebung 29

DIE PLANPARALLELE PLATTE 34

DAS SPIEGELTELESKOP. Fehlertabelle — Kugelspiegel mit großem Gesichtsfeld 34

DAS BEUGUNGSGITTER. Optische Eigenschaften — Herstellung — Photographische Bestimmung der effektiven Wellenlänge 37

DIE IRDISCHE ATMOSPHÄRE ALS LINSE 41

DIE KAMERA. Teleobjektive — Plattenansatz mit Kontrollokular für Planeten- und Mondphotographien — Kassetten — Scharfeinstellung 41

Die chemischen Hilfsmittel der astronomischen Photographie

DIE PHOTOGRAPHISCHE PLATTE 46

Wirkungsweise 46 — Beziehung zwischen Schwärzung und Belichtung 47 — Gradationskurven 48 — Empfindlichkeit 49 — Röhrenphotometer 50 — Plattenschärfe 52 — Photometrische Schärfe 53 — Die Kollodiumplatte 54 — Rezepte für Kollodiumplatten 55 — Das Arbeiten mit Kollodiumplatten 56 — Die Entwickler 57 — Die Sensibilisierung der photographischen Platten 60 — Ultrarot-Sensibilisierung 62

Die Objekte der astronomischen Photographie

DER MOND 62

Helligkeit 62 — Photographische Tonabstufung 63 — Platten für Mondaufnahmen 64 — Verwendung der Barlowlinse 65 — Exposition 67 — Filteraufnahmen 68

Seite

DIE SONNE 69
Vermeidung der Temperaturerhöhung im Instrument 69 — Verbindung von Kamera und Teleskop, Telesysteme 70

PLANETEN 70
Der geringe Nutzeffekt der großen Instrumente 71 — Die Barlowlinse — Das Kontrollokular 72 — Jupiter — Mars — Saturn — Venus 73

KOMETEN 74
Expositionszeiten 75 — Photographische Auffindung von Kometen bei unsicheren Ortsangaben 76 — Aufnahmen von Kometenspektren 77

STERNSCHNUPPEN. 77

FIXSTERNE 78
Photographische Helligkeitsbestimmung nach der Durchmessermethode 79 — Ortsbestimmung 82 — Szintillographie 85

SPEKTROGRAPHIE. 84
Überlegenheit der photographischen Methode 84 — Energieverteilung im Spektrum 85 — Ausschaltung der Luftunruhe 86 — Brennweite und Dispersion 87 — Befestigung des Prismas 89 — Aufnahme der Spektren nach der Schraffiermethode 90 — Berechnung der Leistung eines Spektrographen 92 — Ausmessung der Spektren 93 — Schwärzungscharakteristiken der Spektraltypen 95 — Spektro-Szintillogramm 96 — Messung der Radialgeschwindigkeiten 97

DAS LABORATORIUM. Der künstliche Stern — Zentrierungsprüfung — Plattenprüfung — Herstellung von Vergrößerungen . . . . . 98—101

NACHTRAG. Entwickler — Sensibilisierung — Sonnenphotographie 102

Einleitung

Jede astronomische Photographie ist eine Urkunde. Wenn der Zeitpunkt ihrer Entstehung, die Plattensorte, die Art der Entwicklung und das Instrument verbucht sind, kann ihr tatsächlicher Inhalt jederzeit festgestellt werden, während die Resultate einer rein subjektiven Beobachtungsmethode unter Umständen von nicht mehr oder nur schwer zu ermittelnden Fehlern durchsetzt sein können. Bei visueller Beobachtung hört mit dem Ende des beobachteten Ereignisses jede Möglichkeit auf, weitere Feststellungen zu machen als die bereits niedergelegten; hingegen nimmt die photographische Platte, da sie von dem Faktor „Aufmerksamkeit" unabhängig ist, alles auf, was auf sie einwirkt.

Es ist nicht nur die Objektivität der Wiedergabe, die die photographische Platte zu einem so hervorragenden Hilfsmittel der astronomischen Forschung macht, sondern auch die Quantität des Tatsächlichen, das mit einem photographischen Instrument in einer Zeitspanne erfaßt werden kann, die bei visueller Beobachtung auch nicht für einen Bruchteil der Arbeit ausreichen würde. Hinzu kommt, daß die Fehlerquellen des Instruments, der Platte, des Entwicklungsverfahrens mit großer Genauigkeit ermittelt werden können, wodurch der Wahrheitsinhalt des photographischen Dokuments gleichsam herauskristallisiert werden kann.

Besonders für den Liebhaberastronomen tritt dieser Unterschied zwischen photographischer Beurkundung und rein subjektiver Beobachtung stark hervor, da er zumeist nicht über die genauen Meßinstrumente verfügt, welche den Wert

der subjektiven Beobachtung entscheiden. Einige Beispiele mögen dies erläutern. Die Anfertigung einer Sternkarte etwa der Hyaden auf Grund von Messungen am Fernrohr wird für den Liebhaberastronomen eine ziemlich aussichtslose Arbeit sein; das Resultat wird voller unkontrollierbarer Fehler stecken, aber schon mit einem einfachen photographischen Objektiv kann man sich in wenigen Minuten Expositionszeit eine Karte der Hyaden herstellen, die an Genauigkeit auch den besseren Sternkarten nicht nachsteht. Unter Berücksichtigung der Eigenheiten des Objektivs kann man die photographische Aufnahme in das übliche Gradnetz übertragen, und die Sternkarte ist fertig.

Ein zweites Beispiel: Wer die Sternspektren mit einem Okularspektroskop betrachten will, wird nur bei Benutzung eines Instrumentes von mindestens 4 Zoll Öffnung einige Linien in den Spektren der helleren Sterne vom Typus *A*, *G*, *K* und die kräftigen Banden der *M*-Sterne sehen können. An eine Messung ist hierbei überhaupt nicht zu denken, es handelt sich nur um einen flüchtigen Eindruck. Aber schon mit einer photographischen Kamera von nur 35 mm Objektiv-Öffnung und einem Kronprisma von 30 Grad brechendem Winkel kann man in einer Expositionszeit von 30 Sekunden bis zu einer Minute die Spektren dieser helleren Sterne auf die photographische Platte bannen und nachher in aller Ruhe die Spektren mit ihren Linien unter der Lupe betrachten. Verfasser hat mit einer solchen Kombination, einem 30^0-Kronprisma und einem Astro-Stellar-Objektiv der Astro-Gesellschaft in Berlin von 35 mm Öffnung Spektren aufgenommen, die bei nur 1 mm Länge unter der Lupe die Wasserstoffserie in 5 Linien mit aller Schärfe zeigen. Bedenkt man noch, daß das Objektiv ein Himmelsareal von etwa 8 bis 10^0 Durchmesser spektrographisch erfassen kann und bei etwa einer halben Stunde Expositionszeit noch Spektren von Sternen vierter Größe gut herauskommen, so bekommt man einen Begriff von der Überlegenheit der photographischen Methode. Als besonders krasses Beispiel

sei noch die Mondphotographie erwähnt. Im Bruchteil einer Sekunde wird hier ein Dokument angefertigt, dessen Studium uns viele Stunden beschäftigen kann. Helligkeitsunterschiede, die gegenseitige Lage von Einzelheiten der Mondoberfläche, unter Umständen auch die fein ausgezackten Gebirge am Mondrande, dies alles wird auf die Platte gebannt und kann nachher in aller Ruhe, unabhängig von der Witterung, ausgewertet werden.

Bei Anwendung der photographischen Methode wird der Liebhaberastronom eine größere Freude an seiner Wissenschaft haben; denn die in klaren Nächten erzielten Ergebnisse bieten reichlich Stoff für überaus interessante Betrachtungen, Messungen und Schlußfolgerungen, wenn draußen Wolken den Himmel verhüllen.

*

Die optischen Hilfsmittel der astronomischen Photographie

DIE LOCHKAMERA

Als allereinfachstes Hilfsmittel für die Photographie der Sonne und des Mondes darf die sog. Lochkamera nicht unerwähnt bleiben. Ein feines Loch hat bekanntlich die Wirkung, daß ein vor demselben in hinreichender Entfernung befindliches Objekt im Raume auf der anderen Seite abgebildet wird. Wir können dieses naturgemäß nicht besonders scharfe optische Bild auf einer weißen Karte abfangen und dabei feststellen, daß es erst in einer bestimmten Entfernung vom Loche deutlich zu werden beginnt. Das Verhältnis des günstigsten Lochdurchmessers für eine bestimmte Länge („Brennweite") der Kamera läßt sich nach der Formel von Lord Rayleigh*) berechnen.

*) $L = \frac{d^2}{2\lambda}$; L = Länge der Kamera, d = Lochdurchmesser, λ = Wellenlänge des Lichtes in mm.

Die Tabelle in „Hevelius“ Seite 444 ist für die Wellenlänge 635 $\mu\mu$ berechnet. Bei gleichem Lochdurchmesser müssen für die Wellenlänge 400 $\mu\mu$ (ungefähres Maximum der gewöhnlichen photographischen Platte) alle Längen mit 1,58 multipliziert werden.

Was die Lochkamera besonders interessant macht, ist ihre vollkommene Durchlässigkeit auch für die kürzesten Ultravioletttstrahlen, die noch durch unsere Atmosphäre zu uns gelangen und bereits von wenigen Millimetern des Glases einer gewöhnlichen Linse absorbiert werden. Infolge dieser Eigenschaft ist die Lichtstärke einer Lochkamera erheblich größer, als man zunächst annehmen möchte. Die in der Literatur vorkommende Angabe, daß man bei Lochkamera-Aufnahmen der Sonne keinen Momentverschluß brauche, ist nicht richtig. Verfasser hat eine Lochkamera-Aufnahme des Vollmondes (Lochdurchmesser 0,9 mm, Länge 600 mm, also Öffnungsverhältnis 1 : 666) auf eine wenig empfindliche photomechanische Agfaplatte in fünf Minuten Belichtungszeit erhalten (Abb. 1). Das ergibt für Sonnenaufnahmen eine Belichtungszeit, die nach Tausendsteln Sekunden zu bemessen ist. Dadurch, daß man einen Vorsatz mit Serien von Löchern verwendet, deren Abstand natürlich mindestens gleich dem doppelten Sonnen- bzw. Mondbilddurchmesser gleich ist, kann man auf eine Platte zu gleicher Zeit mehrere Aufnahmen machen und dabei einerseits den Einfluß der Lochgröße ermitteln, andererseits durch Vorsetzen von Filtern (z. B. Hanauer ultraviolett durchlässiges Schwarzglas) Aufnahmen in den verschiedenen Wellenlängenbezirken erhalten. Jedenfalls verdient dieses sehr interessante Gebiet der Photographie besonders im Hinblick auf die Möglichkeit, mit billigsten Mitteln Auf-

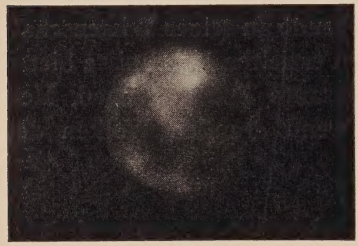


Abb. 1. Lochkamera-Aufnahme des Vollmondes.

nahmen im kürzesten uns erreichenden Ultraviolett zu machen, Beachtung.

DIE LINSENOPTIK

Der Liebhaberastronom wird häufig mit einfachen Linsen experimentieren müssen; aber auch für das erfolgreiche Arbeiten mit photographischen Objektiven und zur sicheren Ermittlung der Ursachen von Mißerfolgen ist es erforderlich, sich mit einigen wesentlichen Grundbegriffen der geometrischen Optik vertraut zu machen. Eine kurze Darstellung erscheint auch aus dem Grunde nicht überflüssig, weil selbst tüchtige, physikalisch geschulte Beobachter über einzelne Gesetze der geometrischen Optik nicht immer genügend unterrichtet sind. Wer sich ausführlicher informieren will, sei hingewiesen auf das vorzügliche Werk Volkmann, Die Linsenoptik in der Schule (Springer, Berlin) und ferner auf Gleichen, Vorlesungen über photographische Optik (G. J. Göschen, Leipzig 1905).

Brennweite und Schnittweite

Die brechenden Flächen von Linsen sind Kugelflächen, denn auch die Planflächen sind praktisch Kugelflächen mit sehr großem Radius. Die Mittelpunkte der Kugelflächen einer Linse oder eines Linsensystems, das zur optischen Abbildung gebraucht wird, liegen auf einer Linie, der sog. optischen Achse.

Für alle strahlenden Punkte, die auf der optischen Achse liegen — gleichgültig in welcher Entfernung vom Scheitel der Linse —, sind die Gesetze der Strahlenbrechung relativ einfach, solange es sich um eine einzige brechende Fläche handelt und das betrachtete Strahlenbündel einen sehr kleinen Winkel mit der optischen Achse bildet. Solche Strahlen *Sa* (Abb. 2a) nennt man Paraxialstrahlen. Während für einen Randstrahl *Sr* das Brechungsgesetz in der trigonometrischen Form $\sin i' = \frac{n}{n'} \sin i$ geschrieben werden muß, und die Lage des zum Objektpunkte P gehörigen Bildpunktes P' auf der

optischen Achse nur trigonometrisch berechnet werden kann, gilt für die Paraxialstrahlen die einfache Beziehung

$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n'-1}{r}.$$

Dabei sind s und s' die Abstände des Objekt- bzw. Bildpunktes vor oder nach der Brechung, r der Radius der brechenden Fläche. Bei unendlicher Entfernung des Objektpunktes P wird s', die sog. Schnittweite $= r\frac{n'}{n'-1}$. Diesen Wert der Schnittweite nennt man die Brennweite, in diesem Falle der einzelnen Fläche.

Bei mehreren brechenden Flächen ist die Brennweite

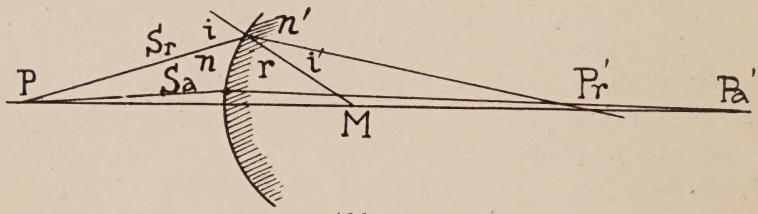


Abb. 2a.

der achsennahen Strahlen nicht gleich dem Abstande des Bildpunktes eines unendlich fernen Objektpunktes vom Scheitel der letzten brechenden Fläche. Die Brennweite wird in diesem Falle aus allen hierbei auftretenden objekt- und bildseitigen Schnittweiten berechnet, die von Fläche zu Fläche nach obiger Formel einzeln ermittelt werden müssen. Für m-Flächen ergibt sich die Brennweite aus der Formel

$$f = \frac{s_1' s_2' s_3' \dots s_m'}{s_2 s_3 \dots s_m}.$$

Die Brennweite der aus dem Unendlichen parallel zur Achse den Rand der Linse treffenden Strahlen muß trigonometrisch berechnet werden. Ist O (Abb. 2 b) ein aus mehreren Linsen bestehendes Objektiv und sind S_1 bzw. S_2 achsenparallele, also von einem unendlich weit entfernten, strahlenden Punkt kommende Strahlen, P_1' und P_2' ihre Schnittpunkte mit der optischen

Achse nach dem Durchgang durch das Objektiv, u_1 bzw. u_2 die entsprechenden Neigungen der Strahlen zur optischen Achse, so finden wir die Brennweite des Objektivs für diese Strahlen, indem wir sie rückwärts bis zum Schnittpunkte A_1 bzw. A_2 mit ihren ursprünglichen Richtungen verlängern. Dann sind $P_1A_1 = f_1$ bzw. $P_2A_2 = f_2$ die Brennweiten des Objektivs für die Einfallshöhen h_1 bzw. h_2. Bei einer gewöhnlichen, nicht korrigierten Linse sind diese Brennweiten durchaus nicht gleich, sie nehmen mit wachsender Einfallshöhe ab. Bei einem gut korrigierten Objektiv müssen die Brennweiten für die verschiedenen Einfallshöhen einander

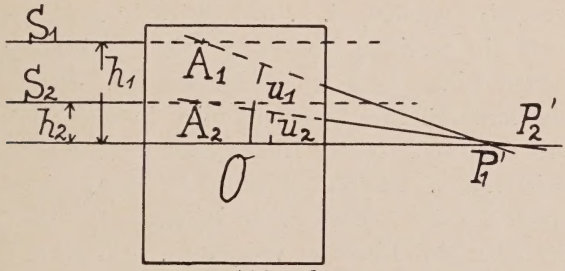


Abb. 2b.

möglichst gleich sein (Erfüllung der Sinusbedingung); außerdem müssen sich alle Strahlen möglichst in einem Punkte schneiden, was keineswegs die notwendige Folge der Erfüllung der Sinusbedingung ist (sphärische Korrektion). Diese Korrektion muß überdies für mindestens zwei Wellenlängen vorhanden sein, die zwischen sich die in Betracht kommenden photographisch wirksamen Strahlen einschließen (photo-chromatische Korrektion). Bei photographischen Objektiven vereinigt man die Wellenlängen 486,1 bzw. 396,8 entsprechend der Empfindlichkeit normaler photographischer Platten, die etwa bei der Wasserstofflinie H_β (486,1) anfängt und bis weit ins Ultraviolette hineingeht.

Wir haben bisher nur die Strahlen betrachtet, die parallel zur optischen Achse in das Objektiv einfallen. Die von unendlich weit enternten Punkten außerhalb der Achse kommenden

Strahlen fallen — unter sich parallel, aber gegen die optische Achse geneigt — in das Objektiv und sollen nach ihrem Austritt wieder zu einem Bildpunkt vereinigt werden. Da wir zum Photographieren ein optisches Bild nötig haben, das der photographischen Platte entsprechend eben ist und weil die von gewöhnlichen Linsen entworfenen Bilder indes auf einer gekrümmten Fläche liegen (Hohlseite gegen das Licht), muß bei einem guten Objektiv auch dieser Fehler berichtigt sein (Beseitigung der Bildfeldwölbung). Die von einem Punkte herkommenden, schiefeinfallenden Strahlenbüschel müssen zur Erzielung einer guten Abbildung möglichst in einem Bildpunkte vereinigt werden, d. h. das Objektiv muß komafrei*) sein. Noch ein zweiter, besonders verhängnisvoller Fehler der einfachen Linse muß berichtigt werden. Solche schiefeinfallende Strahlbüschel haben nämlich in der Einfallsebene und in einer dazu senkrechten Ebene verschiedene Brennweiten bzw. Schnittweiten. Diesen Fehler nennt man Astigmatismus. Tritt er auch auf der Achse auf, so ist entweder das Objektiv dezentriert oder eine Linse ist verspannt. Ein gutes Objektiv muß ferner verzeichnungsfrei sein, d. h. es muß auf der optischen Achse einen Punkt geben, von dem aus betrachtet die einzelnen Bildpunkte unter demselben Winkel zur optischen Achse erscheinen wie die ihnen entsprechenden Objektpunkte.

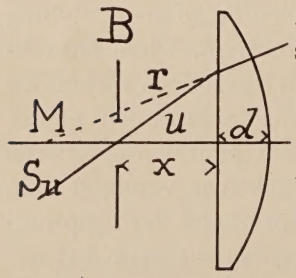


Abb. 3.

Die einfache Linse

Die Brennweite f einer plankonvexen Linse ist, unabhängig von ihrer Dicke und dem Vorzeichen der Lichtrichtung $= \frac{r}{n-1}$. Wir können vor einer plankonvexen Linse, deren Planfläche gegen das Licht gerichtet ist, eine Blende B derart anordnen (Abb. 3), daß ein unter der Neigung u durch die Mitte

*) Die Koma ist im Grunde nichts anderes als die sphärische Aberration der schiefen Büschel.

der Blende gehender Strahl *Su* nach seiner Brechung an der Planfläche ungebrochen, also in der Richtung des Radius *r* durch die konvexe Fläche hindurchgeht. Machen wir die Blendenöffnung nicht zu groß (etwa $^1/_7$ bzw. $^1/_{14}$ der Brennweite), so erhält man im Punkte *P'* eine recht gute Strahlvereinigung, die — das ist das Bemerkenswerte dieser Blendenstellung — frei von Astigmatismus ist. Dies ist nur dann der Fall, wenn sich, wie dargestellt, die Blende *B* im sog. Mittelpunkt der natürlichen Blende befindet. Ihr Abstand von der Planfläche ist in diesem Falle in guter Annäherung $x = \frac{r-d}{n}$, also für $n = 1{,}5$, $x = (r-d)\,0{,}66$*). Das Gesichtsfeld einer so abgeblendeten Linse ist sehr groß; etwa 60^0 lassen sich noch gut abbilden. Das Bildfeld ist allerdings gewölbt, der Wölbungsradius ist $= n$-mal der Brennweite. Verwendet man einen Filmstreifen, so läßt sich die Wölbung wenigstens in einer Ebene ausgleichen, und man kann einen Himmelsstreifen von $60^0 \times 6^0$ bei einer Brennweite der Linse von 200 mm aufnehmen, ohne daß die Differenz zwischen der Zylinderfläche des gebogenen Films und dem kugeligen Bildfeld die Schärfe der Abbildung wesentlich beeinträchtigt. Bei einer Filmbreite von 14 mm ist diese Abweichung im Maximum etwa 0,28 mm. Bei einem Verhältnis der Blendenöffnung zur Brennweite gleich 1 : 10 ist also der Zerstreuungskreis, d. i. die Schnittfläche des Films durch das abbildende Büschel, 0,03 mm.

Für die später zu erörternde Bestimmung von Sterngrößen mit Hilfe photographischer Aufnahmen nach der Durchmessermethode reichen, wie eine Untersuchung Hoffmeisters zeigt, ganz einfache Linsen aus. Die Genauigkeit der Resultate ist überraschend, sie beträgt 0,14 Größenklassen im Resultat. Bei Verwendung einer einfachen Linse ohne eine solche Blendenanordnung ist das Gesichtsfeld sehr klein.

*) Näheres darüber findet man in Gleichen, Vorlesungen über photographische Optik (G. J. Göschen, Leipzig 1905, S. 146).

Durch obige Anordnung kann es erheblich vergrößert werden; so ist dem Liebhaberastronomen die Möglichkeit gegeben, mit einer sehr einfachen Kamera Arbeiten auf dem Gebiete der photographischen Photometrie durchzuführen. Der bei einer solchen einfachen Linse nicht behobene Fehler der chromatischen Aberration stört weit weniger, als man glaubt.

Der Achromat

Der Fehler der einfachen Linse, für die roten Strahlen eine längere Brennweite zu besitzen als für die blauen und violetten, hat zur Folge, daß anstatt einer Abbildungsebene ein Abbildungsraum hinter der Linse vorhanden ist, in welchem eine Schar von Bildern verschiedener Größe aufeinanderfolgen. Die photographische Platte kann streng genommen nur ein einziges dieser Bilder scharf festhalten, und dieses Bild wird von all den unscharfen überlagert. Die Abbildung ist, wie man sagt, mit chromatischer Aberration behaftet. Dadurch, daß man eine Linse aus zwei oder mehr einzelnen Linsen aus verschiedenen Gläsern zusammensetzt, läßt sich dieser Fehler gut berichtigen. Es wird dann dafür gesorgt, daß die Bilder zweier Farben (Wellenlängen) sich an einem Orte befinden und gleich groß sind. Die dazwischen liegenden Wellenlängen und auch die außerhalb benachbarten ergeben Bilder, die sehr nahe bei dieser Vereinigungsebene liegen, so daß die Abbildung für alle Farben zufriedenstellend wird.

Bei den Kurven, welche die chromatische Korrektion eines Objektivs veranschaulichen, ist zu beachten, daß diese Diagramme sich meist ausschließlich auf die achsennahen Strahlen beziehen und infolgedessen größtenteils wertlos sind, jedenfalls aber noch kein sicheres Urteil über die Güte des Objektivs zulassen. Hierzu ist es erforderlich, auch die Kurve für die Rand- und Zonenstrahlen zu kennen. Erst dies gibt uns einen Begriff von der zu erwartenden Qualität des photographischen (und visuellen) Bildes.

Mit Hilfe von solchen einfachen, aus zwei verkitteten Linsen bestehenden Achromaten lassen sich, auch wenn sie nicht speziell für photographische Zwecke korrigiert sind, hübsche Fixsternaufnahmen herstellen, falls die Brennweiten der verwendeten Achromate nicht zu groß sind und sie auf 1:8 oder 1:10 abgeblendet werden.

Der Refraktor

Der Besitzer eines Fernrohres wird in die Versuchung kommen, dasselbe zu photographischen Aufnahmen, z. B. des Mondes, benutzen zu wollen. Die für die Beobachtung mit dem Auge korrigierten Refraktorobjektive haben im Gebiete der photographisch wirksamen Strahlen eine so starke chromatische Abweichung und infolgedessen eine so große Streuung, daß man keine besonders guten Resultate erwarten darf, es sei denn, daß man über einen Apochromaten verfügt. Mündler hat bewiesen*), daß man mit einem solchen ganz vorzügliche Mondphotographien erlangen kann. Bei normalen Refraktorobjektiven liegen die blauen und violetten Bilder weiter vom Objektiv entfernt als die gelben und grünen (chromatische Überkorrektion). Die für photographische Zwecke geeignetste Einstellung wird also außerhalb des visuellen Fokus liegen.

Die photographischen Objektive

Das astronomische Anwendungsgebiet photographischer Objektive umfaßt die Aufnahmen von Himmelsgegenden für die Zwecke der photographischen Photometrie, die Aufnahme von Kometen, Sternen und Planetenspektren sowie auch die Aufnahmen kosmischer Nebel. Da es sich bei photographischen Objektiven um optische Systeme von relativ kurzer Brennweite handelt — es sei denn, daß man die noch zu besprechenden Tele-Systeme anwendet —, so ergibt es sich von selbst, daß Sonne, Mond und Planeten als Objekte hier nicht in Frage kommen.

*) Sirius 1925, H. 5 u. 10.

Als erstes sei das Petzval-Objektiv erwähnt, das für den Liebhaberastronomen insofern schon ein besonderes Interesse hat, weil die Möglichkeit gegeben ist, bei einem Photo-Althändler gelegentlich einmal für einen relativ geringen Preis ein Objektiv von größerer Öffnung zu erstehen. Da bei Fixsternaufnahmen die innerhalb einer bestimmten Expositionszeit erreichbaren Größen hauptsächlich von der Öffnung des Objektivs abhängen, moderne Anastigmate von größerem Durchmesser aber sehr kostspielig sind, so ist das Petzval-Objektiv ein Retter in der Not. Es gibt Petzval-Objektive, die speziell für die Zwecke der astronomischen Photographie berechnet sind, aber auch mit den einfachen Petzval-Porträt-Objektiven läßt sich viel erreichen. Nicht zu gebrauchen sind hingegen die Petzval-Projektions-Objektive; man muß, wenn man beim Althändler kauft, hierauf besonders acht geben.

Das brauchbare Gesichtsfeld eines Petzval-Objektivs beträgt etwa 5^0, ist also erheblich kleiner als bei einem Anastigmaten. Beim Petzval-Objektiv ist der Astigmatismus nicht berichtigt. Das Verhältnis von Öffnung (Durchmesser der Vorderlinse) zur Brennweite steigt beim Petzval-Objektiv bis zu 1 : 2,3. In der Regel wird man es mit einem Öffnungsverhältnis 1 : 3 oder 1 : 4 benutzen. Es hat sich in der Optik eingebürgert, das Öffnungsverhältnis als „Lichtstärke" zu bezeichnen. Diese Bezeichnung ist falsch und irreführend. Für die Abbildung flächenhafter Objekte ist die Lichtstärke eines Objektivs in der Nähe der optischen Achse proportional dem Quadrate des Öffnungsverhältnisses und nimmt nach dem Rande der Platte zu mit der vierten Potenz des Kosinus des Einfallswinkels*) ab. Bei 20^0 Neigung gegen die optische Achse beträgt der Verlust etwa 20%, bei 30^0 ca. 45%). Für die Abbildung punktförmiger Objekte (Fixsterne) ist die Licht-

*) Bei Objektiven vom Öffnungsverhältnis 1 : 2 kann diese „Abschattung" sehr stark werden und schon bei 20^0 Neigung einen Lichtverlust von 80 % verursachen. Vgl. Merté, Zentralzeitung für Optik und Feinmechanik.

stärke eines Objektivs wegen des mit wachsender Öffnung abnehmenden Durchmessers des Beugungsscheibchens theoretisch proportional der vierten Potenz des Durchmessers der Eintrittsöffnung und umgekehrt proportional dem Quadrate der Brennweite. Auch hier nimmt die Lichtstärke mit der Entfernung von der optischen Achse, d. h. mit wachsender Neigung der einfallenden Strahlenbüschel ab. Die gesetzmäßige Beziehung ist kompliziert und wird nötigenfalls am besten für jedes Objektiv experimentell bestimmt. Zu diesem Zwecke muß man auf einer mit dem Objektiv hergestellten Aufnahme zunächst in der Umgebung der Plattenmitte die Beziehung zwischen Schwärzungsdurchmesser und photographischer Sterngröße bestimmen und nunmehr dieselbe Beziehung für Plattengebiete ableiten, die von der Mitte weiter entfernt sind. Da wo die Sternscheibchen anfangen, von der Kreisform erheblich abzuweichen, wird man von einer Reduktion absehen müssen.

Wegen seiner großen Lichtstärke eignet sich das Petzval-Objektiv sehr gut dazu, Kometen aufzunehmen.

Für die Aufnahme größerer Himmelsareale ist der Anastigmat unerläßlich. Das erste Objektiv dieser Art wurde von Miethe berechnet, von dem auch die Bezeichnung stammt. Moderne Anastigmate von großer Lichtstärke, die in der Astronomie mit Erfolg verwendet worden sind, sind das von Bielicke berechnete Tachar, ein vierlinsiger unverkitteter Anastigmat mit Öffnungsverhältnis bis zu 1 : 1,8 (Astro-Ges. Berlin), das Zeiss-Tessar mit Öffnungsverhältnis bis zu 1 : 2,7, ein vierlinsiger Anastigmat mit zwei verkitteten Linsen, in seiner ersten Form berechnet von Rudolph, in neuerer Zeit verbessert von Wandersleb und Merté, das „Ernostar, Öffnungsverhältnis bis zu 1 : 1,8, ein sechslinsiger Anastigmat*).

Bei neuentdeckten Kometen kommt es häufig vor, daß infolge nicht ausreichenden Beobachtungsmaterials die Bahn-

*) Guthnick, Veröffentlichungen der Akademie der Wissenschaften, 1926 Bd. XXI S. 275—289.

bestimmung ungenau ist*) und der Komet an dem in den Ephemeriden bezeichneten Ort nicht zu finden ist. Die Abweichung kann mehrere Grade betragen. In diesem Falle wird man bei Anwendung eines Anastigmaten, den man auf den Ephemeridenort einstellt, bei hinreichender Expositionszeit sicher sein können, den Kometen nachher auf der Platte zu haben.

In der Nähe von Großstädten wird die große Lichtstärke solcher Anastigmate leider verhängnisvoll, denn die Aufhellung des Himmels durch die Straßenbeleuchtung und die Werbelichter genügt, um schon bei Expositionszeiten von zwanzig Minuten die Platte erheblich zu schwärzen.

Die Kassetten

Ehe wir in der Erörterung der Optik weiterfahren, muß der mechanische Teil des Aufnahmeapparates einer kurzen Betrachtung unterzogen werden.

Solange das Verhältnis der Öffnung zur Brennweite nicht größer ist als 1 : 10, wird eine geringfügige Neigung der Kassette zur Brennebene des Objektivs keine erheblichen Bildfehler verursachen. Im Augenblick aber, wo man mit großen Lichtstärken arbeitet (z. B. Öffnungsverhältnis 1 : 4,5), wachsen die Anforderungen an genaue Plattenstellung ganz außerordentlich. Die Platte muß erstens im Bildfeld**) und zweitens senkrecht zur optischen Achse des Objektivs stehen. Die Erfüllung der ersten Bedingung nennt man bekanntlich die Scharfeinstellung. Sie kann durch Probeaufnahmen erreicht werden, wobei man auf ein und derselben Platte mehrere Aufnahmen bei verschiedener, naturgemäß genau zu verbuchender Objektiveinstellung herstellt. Diese Fokusierungsaufnahmen können, da sich die Sterne ja weiterbewegen, sogar bei feststehender Kamera erfolgen; man muß sich nur die Reihenfolge der Objektiveinstellungen und der entsprechen-

*) Vgl. „Der Komet Pons-Winnecke“ in „Die Himmelswelt“ 1927, H. 12, S. 327.

**) Das Bildfeld ist keine „Ebene“.

den Aufnahmen gut vermerken. Um zu wissen, welche Aufnahme die erste oder die letzte ist, unterbricht man die letzte Exposition auf $\frac{340}{f}$ Sekunden, wobei f die Brennweite des Objektivs in Zentimetern ist. Man erhält dann bei nicht allzuweit vom Äquator entfernten Sternen eine gut sichtbare Unterbrechung der Spur (0,25 mm). Die Schärfe der einzelnen mehr oder minder gekrümmten Spuren gibt uns sofort Aufschluß darüber, zwischen welchen Einstellungen die beste liegt. Man macht jetzt nochmals zwei oder drei Aufnahmen im Intervall zwischen den beiden ermittelten Einstellungen und wird dann wohl am Ziele sein. Die Scharfeinstellung nach der Messerschneiden-Methode wird weiter unten besprochen werden.

Die zweite Bedingung, die Platte in eine senkrechte Lage zur optischen Achse zu bringen, ist nicht immer leicht zu erfüllen. Eine schiefe Lage der Platte zur optischen Achse hat zur Folge, daß trotz vorhandener Mittelschärfe an zwei sich diagonal gegenüberliegenden Randgebieten der Platte die Abbildungen der Sterne nicht punktförmig bzw. stumpfrautenförmig, sondern strichförmig erscheinen. Die Platte ist nämlich in einem Falle dem Objektiv zu nahe und auf der gegenüberliegenden Seite zu weit weg. Zur Unterscheidung beider Fälle diene die folgende, für so gut wie alle Objektive gültige Regel (siehe Abb. 4): Radial von der Plattenmitte weggerichtete Strichabbildungen bedeuten: die Platte ist an dieser Stelle

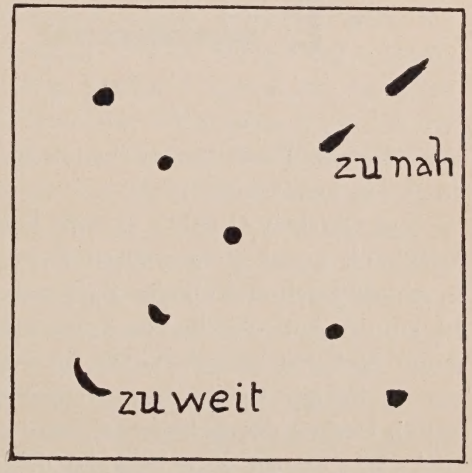


Abb. 4. Schematische Darstellung inner- und außerfokaler Sternabbildung.

dem Objektiv zu nahe; senkrecht zum Plattenradius verlaufende Strichabbildungen bedeuten das Entgegengesetzte.

Es ist nicht leicht, dem Fehler abzuhelfen. Es kann passieren, daß der Fehler bei jeder Kassette ein anderer ist, und man muß sich dann durch entsprechende Einlagen helfen. Wer mit lichtstarker Optik arbeiten will, tut gut, überhaupt keine

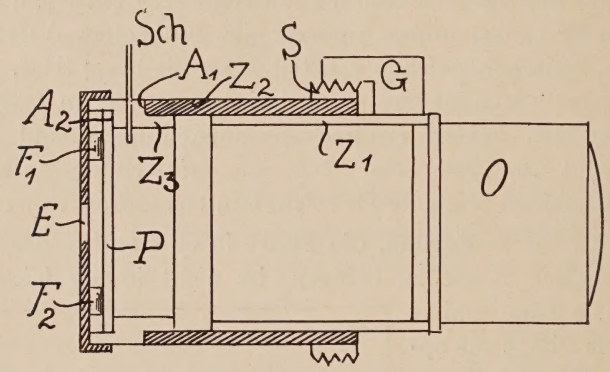


Abb. 5.

der üblichen Kassetten zu benutzen, sondern folgende Konstruktion anzuwenden:

Das Objektiv *O* (Abb. 5) wird in den Boden eines auf der Drehbank genau hergestellten Zylinders Z_1 geschraubt, der in einem zweiten Zylinder Z_2 genau passend gleitet. Vorne ist auf der Außenfläche von Z_2 ein kräftiges Gewinde *S* von ca. 2 mm Steigung aufgeschnitten, in welches der am Zylinder Z_1 starr befestigte Greifer *G* mit einem Zahnkamm *H* eingreift. Durch Drehen des Zylinders Z_1 wird dieser also vorwärts oder rückwärts bewegt ohne Störung der Achsenrichtung des Objektivs. Die Bewegung ist leicht bis auf 0,01 mm kontrollierbar, wenn man sich auf den Zylinder Z_2 einen Streifen Millimeterpapier umlaufend aufklebt.

Die Kassette ist ein ebenfalls auf der Drehbank genau laufend hergestellter Zylinder Z_3 mit zwei Stufen A_1 und A_2. A_1 paßt in Z_2, A_2 dient zur Aufnahme der quadratisch zu

schneidenden Platte. Mit den in jedem Stahlwarengeschäft erhältlichen Glasschneidern mit Stahlrädchen bzw. Stahlzungen, kann man photographische Platten leicht schneiden und teilen. Natürlich muß man die Platte auf der Glas-, nicht aber auf der Schichtseite ritzen. Man legt die photographische Platte mit der Schichtseite auf Filtrierpapier, das sich auf einer starren und ebenen Fläche, etwa einem Stück Spiegelglas, befindet. Die Rechteckigkeit der Platte hat für astronomische Aufnahmen keinen Sinn. Auf den nach der Quadrierung verbleibenden Plattenstreifen kann man Spektren aufnehmen. Ein stramm passender Deckel mit zwei exzentrischen Anschmiegfedern F_1 und F_2 und verschließbarer Einstellöffnung E hält die Platte P im Sitz, ein Schieber S verschließt die Kassette, die man aber doch vorsichtshalber in schwarzes Tuch eingewickelt an die Kamera bringt und einsetzt.

Bei der Anwendung solcher Kassetten bleibt nur noch die Unebenheit des Plattenglases als Fehler übrig. Dieser kann bei größeren Platten bisweilen beträchtlich sein, so daß man in diesem Falle Spiegelglasplatten verwenden muß. Auch diese sind auf Ebenheit zu prüfen; bei ihrer Bestellung ist dem Glaswerk die höchst zulässige Durchbiegung anzugeben.

Der Zylinder Z_1 soll mit einer möglichst großen Anschrauböffnung versehen werden, damit man auch größere Objektive benutzen kann. Die kleineren werden mit Hilfe von Zwischenringen eingesetzt. Bei kleineren Kameras kann das Einstellgewinde durch einen schrägen Schlitz im Zylinder Z_2, der Greifer G durch einen kleinen mit Z_1 fest verbundenen, in jenem Schlitze spurenden Hebel ersetzt werden, der gleichzeitig zum Einstellen dient. Derartige Astro-Kameras werden von der Astro-Ges. in Berlin-Wilmersdorf hergestellt.

Die Brennweiten-Verlängerungslinse (Barlow-Linse)

Die Brennweite F einer zentrischen Kombination zweier Linsen $L_1 L_2$ von den Einzelbrennweiten f_1 und f_2, deren

Abstand e ist, ist unter der Voraussetzung sehr dünner Linsen

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - e}.$$

Setzen wir $f_1 - e = a$ (Abb. 6), fordern wir ferner, daß die resultierende Brennweite F das m-fache der Brennweite f_1 sein soll, so ergibt sich

$$F = m f_1 = \frac{f_1 f_2}{f_2 + a} \quad \text{bzw.} \quad m = \frac{f_2}{f_2 + a}.$$

Soll m größer als eins und F positiv sein, so muß, wie die letzte Gleichung zeigt, f_2 negativ und größer als a sein.

Die neue Brennebene liegt aber nicht im Abstande F von der Linse L_1, sondern, wie sich aus der Fundamentalgleichung

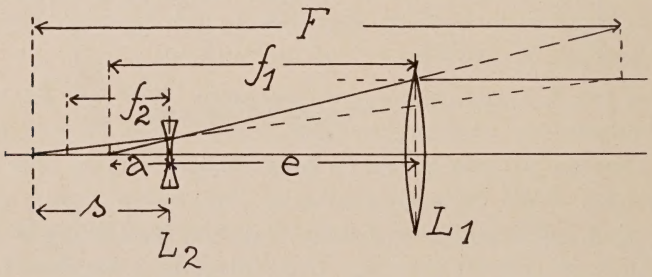


Abb. 6.

für achsennahe Strahlen ergibt, in einer Entfernung $s = m \cdot a$ von der Linse L_2. Das System hat die Brennweite $F = m f_1$, aber die Entfernung der Brennebene von der vordersten Linse (Schnittweite) ist sehr viel kleiner, nämlich $l = f_1 + (m - 1)\, a$. Ein Zahlenbeispiel zeigt dies am besten.

Es sei $m = 5$, $f_1 = 200$ mm, $a = 30$ mm, also $F = 1000$ mm, und l wird dann 320 mm. Die zur Erfüllung dieser Bedingungen erforderliche negative Linse hat die Brennweite $f_2 = -\frac{m\,a}{m-1} = -35$ mm.

Die Negativlinse muß für den besonderen Zweck der Brennweitenverlängerung berechnet werden. Eine gewöhnliche bikonkave Brillenglaslinse wird man zur Not für direkte Be-

obachtungen benutzen können, wenn man mit ihr die Brennweiten höchstens verdoppelt. Mit einem richtig berechneten, zumeist aus zwei Linsen zusammengesetzten Negativ-Objektiv (Barlowlinse) kann man bei geringer Verlängerung des Okularauszuges das benutzte Instrument in ein solches von etwa der dreifachen Brennweite verwandeln, ohne die Qualität der Bilder zu stören.

Selbst bei schärfster Einstellung wird die photographische Platte keine feineren Einzelheiten wiedergeben, als die Struktur der Schicht (auch „Korn" genannt) es zuläßt. Von zu kleinen Mondbildern vermag die Platte nur wenige Feinheiten wiederzugeben. Bei einem Mondbild von 4 cm Durchmesser gibt die Platte noch Einzelheiten von 2″. Bei der Planetenphotographie wird man ohne Barlowlinse kaum zum Ziele kommen, es sei denn, daß man nach dem Schmidtschen Verfahren mit langbrennweitigen Spiegeln arbeitet, was die Aufstellung eines besonderen Instruments erforderlich macht, das man im wesentlichen nur für diese Zwecke gebrauchen kann. Schmidts Jupiteraufnahmen mit einem Spiegel von 30 m Brennweite zeigen, daß man mit diesem Verfahren ganz Hervorragendes leisten kann.

Mit der Verlängerung der Brennweite nimmt zwar die Lichtstärke mit dem Quadrate von m ab, sinkt also bei $m = 3$ auf ein Neuntel, aber ein gutes Spiegelteleskop verträgt dies und gibt selbst auf relativ unempfindlichen Platten in zwei bis vier Sekunden Jupiteraufnahmen.

Brennweiten-Verkürzer (Shapley-Linse)

Aus dem Zuletztgesagten ergibt sich, daß bei Verkürzung der Brennweite die Lichtstärke mit dem Quadrate der Verkürzung wächst. Dies kann für die Aufnahme lichtschwacher Objekte von großer Bedeutung sein.

Die Formel $m = \frac{f_2}{f_2 + a}$ ergibt für m kleiner als 1 positives Vorzeichen für f_2. Die Verkürzungslinse ist also eine Sammel-

linse. Soll ein Spiegelteleskop $f = 1800$ mm, Öffnung 180 mm (Öffnungsverhältnis 1 : 10) auf das Öffnungsverhältnis 1 : 3,3, also auf die neunfache Lichtstärke gebracht werden, dann ist $m = \frac{1}{3}$. Wir können a willkürlich wählen, setzen es gleich 100 mm und erhalten $f_2 = +\ 50$ mm.

Auch die Verkürzungslinse muß ihrer besonderen Aufgabe entsprechend berechnet werden. Dies Gebiet ist wenig bearbeitet. Das Verlockende der Methode liegt darin, lichtschwache Nebel und Kometen bei mäßigen Expositionszeiten mit einem Instrument großer Öffnung aufnehmen zu können.

Zum Schlusse sei noch eine sehr merkwürdige Folgerung aus der Formel $F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - e}$ erörtert. Setzen wir im Falle, daß f_1 positiv ist, $e = f_2$, so wird $F = f_2$, d. h. die Brennweite einer Sammellinse bleibt unverändert, wenn wir vor ihr in einem Abstand gleich ihrer Brennweite eine Linse größerer, positiver oder negativer Brennweite setzen. Dies wird wesentlich, wenn man Sternspektren mit Spiegelteleskop und Objektivprisma aufnimmt, da letzteres dann ungefähr in Brennweitenabstand vor dem Spiegel zu liegen kommt. Für den Fall, daß die Prismenflächen nicht genau plan sind, das Prisma also selbst eine Brennweite besitzt, wird die Brennweite des Spiegelteleskops nicht geändert, sondern nur die Schnittweite. Bei vorgesetztem Objektivprisma ändert sich mithin die Lage der Brennebene, aber nicht die Brennweite.

Zum ersten Male scheint Shapley die Brennweitenverkürzungslinse angewendet zu haben*). Er wendete sie am 100zölligen Spiegel an, dessen Brennweite er auf $\frac{3}{8}$ verkürzte. Es gelang, in drei Minuten den Spiralnebel Messier 77 aufzunehmen und feinere Einzelheiten festzuhalten, als dies mit 10 Minuten Belichtungszeit ohne Brennweitenverkürzung möglich war. Der Sternhaufen Messier 3 zeigte bei einer Verkürzung der Brennweite auf etwa die Hälfte bei gleicher

*) Pop. Astron. 1921, 28, 599.

Belichtungszeit einen Gewinn von etwa einer Größenklasse gegenüber dem unverkürzten Spiegel. Bemerkenswert ist, daß dieser Gewinn erzielt wurde, obwohl eine solche achromatische Linse mindestens 10% des Lichtes durch Reflexionsverluste aufzehrt.

Die Anwendung der Verkürzungslinse setzt einen tiefschwarzen Himmel ohne aufgehellte Dunstmassen voraus, sonst ist ein Verschleiern der Platte bei längeren Expositionen nicht zu vermeiden. Bei Kometenaufnahmen, die durch aufgehellten Himmelshintergrund stark verschleiert sind, muß man Kopien auf hart arbeitendem Gaslichtpapier herstellen, auf dem infolge seiner steilen Schwärzungskurve (vgl. S. 48) selbst geringe Kontraste deutlich zum Vorschein kommen.

DAS PRISMA

Die Aufnahme von Sternspektren gehört zu den dankbarsten und interessantesten Aufgaben, mit denen sich ein Liebhaberastronom beschäftigen kann. Aus theoretischen und praktischen Gründen müssen überdies kurzbrennweitige Aufnahmeapparate bei Anwendung entsprechender Prismen wesentlich schärfere Spektren ergeben als große langbrennweitige. Näheres hierüber befindet sich im Kapitel über Spektrographie. Was mit einfachen Mitteln (Petzval-Porträtobjektiv 50 cm Brennweite und 50^0 Prisma) erreicht werden kann, zeigen die Aufnahmen von Beyer*).

Je nach der Größe des brechenden Winkels, nach dem mittleren Brechungsexponenten des Glases und nach seiner Dispersion wird das einfallende homogene Lichtbündel mehr oder weniger stark abgelenkt und dabei entsprechend dispergiert. Als Maß der Lichtzerstreuung nehmen wir den Winkel, den die Strahlen zweier verschiedener Wellenlängen nach dem Austritt aus dem Prisma miteinander bilden. Diese Definition ist noch vieldeutig, und darum setzten wir fest, daß der langwelligere Strahl das Prisma symmetrisch durchlaufen soll,

*) Die Sterne 1925, Heft 2/3.

Einfallswinkel an der ersten Fläche und Austrittswinkel an der zweiten Fläche, also gleich sind (s. Abb. 7). Der Ablenkungswinkel des Strahles ist in diesem Falle ein Minimum. Der zweite kurzwelligere Strahl, der unter dem gleichen Einfallswinkel in die erste Fläche eintritt, wird stärker abgelenkt. Die Differenz der beiden Ablenkungen, der Winkelzwischenraum, ist dann die Dispersion des Prismas für diese beiden Wellenlängen. Ablenkung und Dispersion sind durchaus nicht proportional. Es gibt Glassorten, die stark brechen, aber gering streuen, und wieder andere, die bei relativ geringer Brechung stark streuen (Leichtflint).

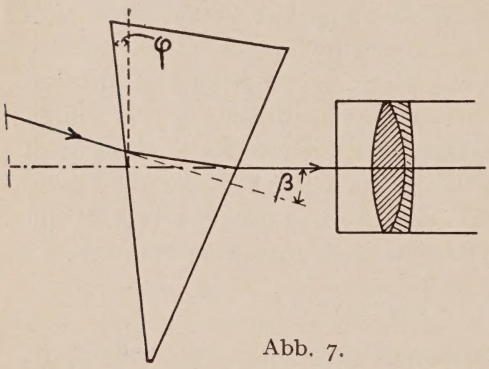


Abb. 7.

Für Prismen von geringem brechendem Winkel, etwa bis 12 Grad, gilt für die Ablenkung δ des Strahls die Gleichung

$$\delta = \alpha\,(n - 1)\,,$$

wo α der Prismenwinkel, n der Brechungsexponent für die betreffende Wellenlänge ist. Die Dispersion ergibt sich aus der Gleichung

$$\Delta\delta = \alpha\,(n_1 - n_2);$$

hierbei sind n_1, n_2 die Brechungsexponenten für die beiden Wellenlängen.

Für Prismen von den Brechungswinkeln 30, 45 und 60 Grad können die erforderlichen Daten der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die Glassorten sind nach dem Schottschen Katalog bezeichnet. Der Ablenkungswinkel (Minimum der Ablenkung) ist berechnet für die Wellenlänge 486,1 (F-Linie) und Wellenlänge 407. Für den Wellenbereich der Sternspektren, den man auf der Platte erhält, ist der Dispersionswinkel etwa

doppelt so groß. In der Tabelle ist ferner die Länge des erhaltenen Spektrums (486—407) für eine Kamerabrennweite von 100 mm angegeben, woraus man leicht die Länge des Spektrums für andere Brennweiten berechnen kann. Sternspektren sind von H_β ab gerechnet in der Richtung nach dem kurzwelligeren Teil etwa doppelt so lang. Verwendet man gelb- und rotempfindliche Platten, so verlängert sich natürlich das Spektrum erheblich. Derartige Aufnahmen aber dürften zu den Seltenheiten gehören. Was ein Astro-Spektrograph in Verbindung mit einer Kamera gegebener Brennweite unter Anwendung verschiedener Prismen leistet, wird man mithin der Tabelle entnehmen können.

Man kann streng genommen das Prisma nur für einen einzigen Stern auf das Minimum der Ablenkung einstellen; es zeigt sich aber, daß bei Brechungswinkeln bis zu 45^0 und bei Verwendung eines Anastigmaten ein Gebiet von etwa 10^0 Durchmesser mit brauchbaren Spektren abgebildet wird. Man wird das Prisma so einstellen, daß das Minimum der Ablenkung für die Plattenmitte erfüllt ist. Das Strahlenbündel also, welches parallel zur optischen Achse aus dem Prisma ins Objektiv eintritt, ist ein Bündel minimaler Ablenkung, die in diesem Falle für die F-Linie berechnet wird. Da nun weder das Einfallslot noch die Sternstrahlenbündel uns bei der Einstellung des Prismas als Richtlinien dienen können, ist in der Tabelle der Winkel φ berechnet, welcher die Neigung der Lichteintrittsfläche des Prismas zur optischen Achse der Kamera für den Fall des Minimums der Ablenkung angibt. Da die Neigung der Prismenfläche zur optischen Achse leicht erkennbar ist, kann man mit Hilfe dieses Winkels das Prisma nach Augenmaß ungefähr einstellen, nach Winkellehren, die man sich ausschneidet, sogar ziemlich genau. Da die Platte meist größer sein wird als das brauchbare Gesichtsfeld, wird man auch bei geringen Einstellfehlern den guten Teil der Aufnahme sicher im mittleren Teil der Platte haben. Was unter dem Winkel φ verstanden wird, ist aus Abb. 7 ersichtlich.

Tabelle.

$\Delta\beta$ Dispersionswinkel der Strahlen 486,1 und 404,7 $\mu\mu$.

φ (siehe Abb. 7; dort ist φ negativ).

L Länge des Spektrums von 486,1 bis 404,7 $\mu\mu$ für eine Brennweite von $f = 100$ mm in mm.

Glas (Bezeichnung nach dem Katalog von Schott & Gen., Jena)	Brechender Winkel	$\Delta\beta$	φ	L (mm)
$K\,7$ n_d 1,5111	30°	16′ 22″	− 6° 53′	0,472
	45°	27′ 26″	− 9° 31′	0,798
	60°	44′ 58″	− 10° 41′	1,308
$K\,5$ n_d 1,5225	30°	16′ 58″	− 6° 42′	0,4935
	45°	28′ 25″	− 9° 12′	0,827
	60°	47′ 3″	− 10° 10′	1,368
$LF\,5$ n_d 1,5814	30°	29′ 45″	− 5° 41′	0,865
	45°	50′ 46″	− 7° 29′	1,476
	60°	1° 27′ 54″	− 7° 17′	2,557
$F\,3$ n_d 1,6129	30°	35′ 16″	− 5° 9′	1,025
	45°	50′ 54″	− 6° 24′	1,480
	60°	1° 48′ 25″	− 5° 41′	3,154
$SF\,3$ n_d 1,7400	30°	1° 0′ 56″	− 2° 56′	1,772
	45°	1° 47′ 28″	− 2° 42′	3,125
	60°	3° 48′ 48″	− 1° 33′	6,66

Für Prismen, die zum Photographieren von Sternspektren dienen, nehme man schwere Flintsorten nur dann, wenn die Kürze der Brennweite des verwendeten Objektivs eine größere Dispersion verlangt, um Spektren ausreichender Länge zu erhalten. Da es nötig ist, hochempfindliche Platten zu verwenden, deren Schärfe*) also gering ist, so darf man die Spektren nicht zu kurz machen. Mehr als 10 bis höchstens 15 Linien auf den mm leisten diese Platten nicht. Stehen längere Brennweiten zur Verfügung, wähle man Leichtflint oder Kronprismen, deren Durchlässigkeit für die brechbareren

*) Siehe Seite 52.

Strahlen nicht unerheblich größer ist als jene der Schwerflintprismen.

Die Gefahr, Prismen bei ihrer Befestigung vor dem Objektiv zu verspannen, ist wesentlich geringer, als man dies für gewöhnlich annimmt. Selbst ein kräftiger Druck auf die beiden zu den brechenden Flächen senkrecht stehenden Endflächen verdirbt die Qualität der Bilder nicht; dagegen würden verspannte Linsen das Bild erheblich beeinträchtigen.

Bei einer Verbindung des Objektivprismas mit einer langbrennweitigen Kamera oder einem Spiegelteleskop kann es vorkommen, daß die vorher scharf eingestellten Instrumente nunmehr keine scharfen Bilder geben. Dies ist ein Zeichen, daß die Flächen des Prismas nicht völlig eben sind, es also selbst eine Brennweite besitzt. Selbst wenn die Krümmung der Prismenflächen äußerst gering ist, kann dies schon eine merklich störende Brennebenenverschiebung bzw. Brennweitenänderung zur Folge haben. Der Wert dieser Verschiebung ergibt sich in diesem Falle aus der Formel:

$$\Delta s' = \frac{f_2^2}{f_1 - a - f_2}.$$

f_1 Prismenbrennweite, f_2 Objektivbrennweite, a Abstand Prisma-Objektiv.

Durch ein Prisma von 300 m Brennweite wird die Einstellung eines Objektivs von 30 cm Brennweite um 0,3 mm geändert, ein Betrag, der bereits bei einem Öffnungsverhältnis 1 : 10 die Abbildungsschärfe schädigt. Es ist in diesem Falle für die Zwecke etwaiger Reduktionen genau zu unterscheiden zwischen einer Brennebenenverschiebung und einer Brennweitenänderung. Liegt das Prisma dicht vor dem Objektiv, so findet eine Brennweitenänderung statt. Liegt es, wie dies beim Spiegelteleskop immer annähernd der Fall sein wird, in einem Abstand vor dem Spiegel, der gleich der Brennweite des Spiegels ist, so findet keine Brennweitenänderung, sondern nur eine Verschiebung der Brennebene statt. Der Betrag dieser Verschiebung $\Delta s'$ ist gleich $\frac{f_2^2}{f_1}$.

DIE PLANPARALLELE PLATTE

Da die planparallele Platte, sei es als unversilberter Kontrollspiegel bei astrophotographischen Aufnahmen oder als Farbfilter zur Anwendung gelangen kann, ist einiges über sie zu sagen. Bei einem Brechungsexponent des Glases von etwa 1,5 schiebt eine planparallele Platte den Schnittpunkt eines sie durchdringenden konvergenten Strahlenbündels um etwa $^2/_3$ der Plattendicke in der Lichtrichtung hinaus. Dabei wird eine etwa vorhanden gewesene sphärische Korrektion gestört. Eine zwischen Objektiv und photographische Platte unter einem Winkel von 45^0 eingesetzte planparallele Platte stört die Koma-Korrektion. Praktisch wird jede planparallele Platte äußerst schwach gekrümmte Flächen haben, also eine Linse sehr großer Brennweite sein. Vor die Öffnung eines Teleskops gestellt, wird eine solche nicht ideale Planplatte eine Brennweitenänderung bzw. Brennebenenverschiebung verursachen. Eine Einstelldifferenz von 0,1 mm bei einem Fernrohr von 2 m Brennweite beim Vorschalten der zu prüfenden Platte besagt, daß diese eine Brennweite von 40 km besitzt.

DAS SPIEGELTELESKOP

Das Spiegelteleskop ist wegen seiner großen Lichtstärke und der bei ihm von selbst gegebenen vollkommenen Vereinigung von Strahlen aller Wellenlängen das wirkungsvollste Hilfsmittel der astronomischen Photographie. Seines verhältnismäßig geringen Preises wegen ist es das gegebene Instrument für den Liebhaberastronomen, der lichtschwache Objekte, aber auch den Mond, die Planeten und die Sonne photographieren will. Der für die Achse sphärisch korrigierte, also parabolische Hohlspiegel hat ein relativ kleines Gesichtsfeld, das mit wachsendem Öffnungsverhältnis stark abnimmt. Ein größeres Gesichtsfeld läßt sich aber erzielen, indem man den leider etwas unterschätzten rein sphärischen Spiegel verwendet.

Die unten stehende Tabelle*) zeigt, wie groß die Zerstreuungskreise des sphärischen Spiegels unter bestimmten Öffnungsverhältnissen und Gesichtsfeldgrößen sind. Die diesen geo-

Fehlertabelle für den Kugelspiegel.

$F = 1000$, B' = Durchmesser des Zerstreuungskreises der sphärischen Aberration; $C' + F'$ ist die gesamte meridionale Ausdehnung der durch Astigmatismus und Koma erzeugten Zerstreuungsfiguren.

Öffnungsverhältnis	Gesichtsfeld in Graden			
	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{6}{2}$	
$\frac{2}{20}$	0,031			B'
	0,0010	0,0086	0,0343	C'
	0,0082	0,0246	0,0492	F'
$\frac{3}{20}$	0,105			B'
	0,0014	0,0129	0,0515	C'
	0,0184	0,0553	0,1106	F'
$\frac{4}{20}$	0,250			B'
	0,0019	0,0172	0,0686	C'
	0,0328	0,0983	0,1966	F'
$\frac{5}{20}$	0,488			B'
	0,0024	0,0215	0,0858	C'
	0,0512	0,1536	0,3072	F'
$\frac{6}{20}$	0,842			B'
	0,0029	0,0257	0,1029	C'
	0,0737	0,2211	0,4423	F'

metrischen Zerstreuungskreisen entsprechenden effektiven Zerstreuungskreise auf der photographischen Platte sind etwa halb so groß. Aus der Tabelle geht u. a. folgendes hervor: Bei einer Brennweite von 100 mm und einem Öffnungsverhältnis 1 : 5 ist bei einem Gesichtsfeld von 3^0 die Abbildungsschärfe am Rande des Gesichtsfelds 0,01 mm, bei einem Öffnungs-

*) Aus C. A. Sonnefeld, Die Hohlspiegel (Union Deutsche Verlagsges.).

verhältnis von 1 : 4 0,015 mm. Diese Unschärfe liegt erheblich unter der Plattenschärfe einer hochempfindlichen Platte, würde also von ihr nicht mehr registriert werden. Der Spiegel könnte also alles leisten, was für die schärfste auf der verwendeten Platte noch mögliche Abbildung notwendig ist.

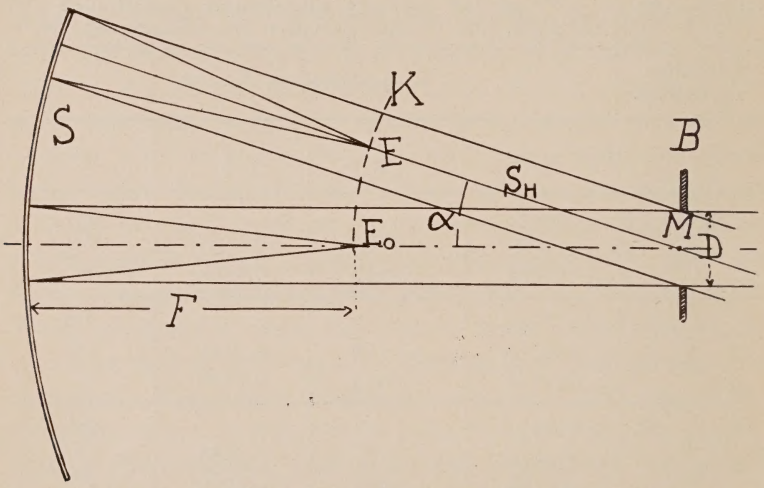


Abb. 8. Natürlicher Blendenort des sphärischen Spiegels.

Bedienen wir uns des Prinzips der natürlichen Blende (vgl. S. 17), so läßt sich ein sphärischer Spiegel berechnen, der in Verbindung mit einer entsprechend bemessenen und angeordneten Blende ein Gesichtsfeld bis zu 30 Grad frei von Koma und Astigmatismus abzubilden vermag. Wir können hier allerdings die Bildfeldwölbung nicht vermeiden; verwenden wir aber einen Film an Stelle einer Platte, so läßt sich wenigstens in einer Ebene der volle Gesichtsfeldwinkel ausnützen. Die Breite des Filmstreifens muß so bemessen sein, daß die Abweichung des (zylindrischen) Streifens von der Bildfeldkugel einen bestimmten, durch die erforderliche Schärfe der Abbildung bedingten Betrag nicht überschreitet.

Die für diese Zwecke notwendige Anordnung von Spiegel und Blende ist aus Abb. 8 ersichtlich. Vor dem Spiegel *S* be-

findet sich in seinem Krümmungsmittelpunkt M die Blende B, die so bemessen ist, daß das Öffnungsverhältnis $D:F$ etwa 1:8 bis 1:10 beträgt. Der Spiegel selbst hat einen erheblich größeren Durchmesser, als er diesem Öffnungsverhältnis entsprechen würde. Der Grund liegt auf der Hand. Ein unter dem Winkel α einfallendes Strahlenbündel wird durch die Blende so ausgeschnitten, daß genau dieselben optischen Verhältnisse vorliegen wie für das erste achsenparallele Strahlenbündel. Es wird infolgedessen frei von Koma und Astigmatismus im Punkte E vereinigt, denn der Hauptstrahl S_H des Bündels wird in sich selbst zurückreflektiert. Die Gesamtheit aller in der Zeichenebene liegenden, gegen die Hauptachse des Spiegels geneigten Strahlenbündel wird auf dem Kreise K der den Radius $ME = F = \frac{r}{2}$ hat, abgebildet. Betrachten wir auch die außerhalb der Papierebene liegenden Büschel, erhalten wir eine Abbildungskugel von gleichem Radius. Machen wir den Durchmesser des sphärischen Spiegels gleich seinem halben Radius bzw. seiner Brennweite, so erhalten wir ein von Koma und Astigmatismus freies Gesichtsfeld von insgesamt etwa 30^0. Man wird dem Film eine Breite geben können, die etwa 2^0 Gesichtsfeld entspricht, ohne den Hohlspiegel wesentlich abzublenden, und kann dann mit einem solchen Instrument etwa 60 Quadrat-Grad am Himmel aufnehmen.

DAS BEUGUNGSGITTER

Auf ein Gitter auffallende parallele Strahlenbündel breiten sich hinter den Öffnungen des Gitters analog wie Wasserwellen nach allen Richtungen seitlich aus, so daß die Spaltöffnungen des Gitters als Lichtquellen betrachtet werden können, deren Schwingungen für jede Wellenlänge synchron sind. Dieser Umstand bringt es mit sich, daß zwei seitlich abgebeugte Wellenzüge bei einem bestimmten Abweichungswinkel α einen Gangunterschied von einer halben, einer ganzen oder dem Mehrfachen einer halben und dem Mehrfachen einer

ganzen Wellenlänge haben können. Werden die entsprechenden abgebeugten Strahlenpaare durch eine Linse in der Brennebene derselben wieder vereinigt, so haben sie bei einer Differenz von einer halben oder der ungeraden mehrfachen einer halben Wellenlänge keine Wirkung, während im anderen Falle ein wirksamer Bildpunkt entsteht. Durch solch ein Gitter betrachtet gleicht ein Stern einem Zentralstern, der von symmetrisch in einer Linie angeordneten Trabanten flankiert ist. Bezeichnet c den Abstand der Mitten der Spaltöffnungen (Gitterkonstante), so ist der Abstand α der Beugungsbilder des Sternes vom ungebeugten Zentralbild in Bogensekunden

$$\alpha'' = m \cdot 0{,}206 \frac{\lambda_{\mu\mu}}{c_{\mathrm{mm}}}.$$

Zu jedem Werte m, der natürlich ganzzahlig sein muß, gehört ein Bildpaar einer bestimmten Wellenlänge λ ($\mu\mu$). Da α der Wellenlänge proportional ist, so sind die Nebenbilder des Sternes Normalspektren, die zwischen zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 in Bogensekunden die Ausdehnung

$$\Delta\alpha'' = m \cdot 0{,}206 \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)_{\mu\mu}}{c_{\mathrm{mm}}}.$$

haben. Konstruiert man das Beugungsgitter so, daß Zwischenräume und Gitterstäbe gleich breit sind, und wählt die Gitterkonstante nicht zu klein, etwa 2 mm, so sind diese Spektren noch ganz sternartig und stehen zum Zentralbild in einer einfachen, photometrisch wichtigen Beziehung. Das Beugungsbild erster Ordnung ($m = 1$) ist $1{,}0^{\mathrm{M}}$ schwächer als das Zentralbild, und das Zentralbild seinerseits ist $1{,}5^{\mathrm{M}}$ schwächer als das Bild bei freiem Objektiv. Man kann also mit Hilfe eines solchen Gitters eine photographisch-photometrische Skala auf eine Platte bringen und sie zu Helligkeitsmessungen verwenden (Hertzsprung).

Beugungsgitter gröberer Art ($c = 4$ mm bis $c = 0{,}4$ mm) kann man sich nach dem Verfahren von Fraunhofer aus Drähten herstellen, die man um zwei hinreichend lange, einander parallele Schraubenstifte wickelt, deren senkrechter Ab-

stand der Öffnung des Objektivs gleich sein muß. Die Dicke des Drahtes muß gleich der Hälfte der Gitterkonstanten c sein, während die Steigung der Schraube gleich c sein muß. Nach dem Umwickeln wird der Draht festgelötet, am besten ohne Kolben, indem man die Lötstellen mit einer Lötmasse bestreicht und diese mit einem Bunsenbrenner zum Fließen bringt. Nach dem Erkalten werden alle Drähte auf einer Seite weggeschnitten, worauf nur die Drähte einer Seite, ein Gitter bildend übrig bleiben. Die Schraubenstifte müssen natürlich vorher auf einem starren Rahmen befestigt worden sein. Für feinere Gitter kann man statt der Drähte Zwirnsfäden nehmen, deren Dicke sich nun allerdings nicht ganz so genau bestimmen läßt und auch nicht ganz gleichmäßig ist. An der Reinheit der Spektren wird dies nicht viel ändern, weil starke Vergrößerungen der Teilstriche vorzüglicher Gitter zeigen, daß diese Striche im Verhältnis zur Gitterkonstanten weit holpriger sind als ein Zwirnsfaden.

Ebenso wie man mit Hilfe derartiger Beugungsgitter auf visuellem Wege die mittlere Wellenlänge des hellsten Spektralgebietes eines Fixsterns oder auch eines Planeten messen kann (Bestimmung der effektiven Wellenlänge nach der Gittermethode von Comstock), kann dies auch photographisch geschehen, indem man den Abstand der beiden Spektren erster Ordnung ($m = 1$) auf der photographischen Platte mißt. Dieser Abstand ist gleich der Entfernung der Schwärzungsmaxima der winzigen Beugungsspektren, und wie die Formel auf Seite 38 ergibt, ist dieser Abstand um so größer, je mehr das photographische Energiemaximum des Sternes ins langwellige Gebiet rückt, also je röter der Stern ist. Die noch meßbare Verschiebung der Schwärzung hat nichts zu tun mit der Definitionskraft (photographisch) der verwendeten Kombination: Fernrohr oder Kamera + Platte. Wenn z. B mit einem Teleskop von 18 cm Öffnung 170 cm Brennweite auf einer Agfa-Ultra-Special Objekte von 0,03 mm linearer Ausdehnung auf der Platte noch erkennbar sind, so können trotzdem

Differenzen zwischen zwei Schwärzungsschwerpunkten gemessen werden, die unterhalb dieser photographischen Definitionskraft liegen und 0,01 und weniger mm betragen.

Die Verschiebung der effektiven photographischen Wellenlänge eines roten Sternes (visuelle effektive Wellenlänge 575,0*), Farbe nach Osthoff 8,0) gegenüber einem weißen Stern (visuelle effektive Wellenlänge 531,0, Farbe nach Osthoff 1,0) beträgt nach den Messungen von Bergstrand etwa 40 $\mu\mu$. Will man also die effektive photographische Wellenlänge der Fixsterne mit einer Genauigkeit von 2,0 $\mu\mu$ bestimmen, und ist die auf der photographischen Platte mit Sicherheit zu messende Schwärzungsverschiebung gleich s mm, so muß die Länge des Beugungsspektrums das 20fache von s sein. Aus einer einfachen Betrachtung ergibt sich ferner, daß sich die Länge l des Spektrums zur Brennweite f des Instruments ebenso verhält wie die dieser Länge des Spektrums entsprechende Wellenlängendifferenz $(\lambda_1 - \lambda_2)$ zur Gitterkonstanten c. Es ist also

$$\frac{l}{f} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{c}.$$

Wir erhalten also die sehr einfache Beziehung, daß sich die Gitterkonstante zur Brennweite so verhalten muß wie die kleinste Wellenlängendifferenz, die wir noch messen wollen, zur kleinsten auf der Platte meßbaren Schwärzungsverschiebung. Für $s = 0{,}01$ mm und 2,0 $\mu\mu$ kleinste zu messende Wellenlängendifferenz ergibt sich, daß die Gitterkonstante der 5000ste Teil der Brennweite sein muß.

Bei diesen Messungen wird man ein besonderes Augenmerk darauf richten müssen, den sog. Nachbareffekt oder Eberhardeffekt (s. S. 53) zu vermeiden und die Fehler festzustellen, die beim Ausmessen der Platten durch Kontrasttäuschungen des Auges verursacht werden.

*) Siehe Tafel S. 111 in meinem Leitfaden d. astronom. Beobachtung.

DIE IRDISCHE ATMOSPHÄRE ALS LINSE

Jede astrophotographische Aufnahmevorrichtung ist unabwendbar verbunden mit der großen Linse, der Atmosphäre, die unsere Erde umgibt. Im optischen Aufnahmesystem ist sie die unvollkommenste und unkontrollierbarste Linse, deren bildschädigende Wirkung wir nur in einem einzigen Falle, nämlich bei der Photographie der Sternspektren unter bestimmten, an anderer Stelle zu erörternden technischen Vorausetzungen ausschalten können. Die optischen Fehler der Atmosphäre sind von gleichem Charakter wie jene einer Linse. Wir haben eine atmosphärische Aberration, die als Zeitfunktion auftritt und Ortsänderungen an sich scharfbleibender Bildpunkte in der Brennebene des Fernrohrs verursacht. Wir haben eine chromatische Aberration, die sich bei tiefstehenden Sternen und Planeten in sehr unangenehmer Weise als sogenanntes Luftspektrum bemerkbar macht. Die atmosphärische Linse hat Verzeichnung, die scheinbare Ausdehnung von Objekten wird, wenn diese sich dem Horizonte nähern, verkleinert. Die atmosphärische Verzeichnung nennt man Refraktion. Ebenso wie bei Linsen haben wir in der Atmosphäre Absorptions- und Reflexionsverluste, deren Betrag als Funktion des Zenitabstandes in sog. Extinktionstabellen festgelegt ist. Es versteht sich, daß Aufnahmen zu photometrischen Zwecken nur an Abenden mit einwandfreier klarer Atmosphäre gemacht werden können.

DIE KAMERA

Es gibt besondere Teleobjektive, die bei kurzer Bauart große äquivalente Brennweite besitzen und dementsprechend große Bilder von Sonne, Mond und Planeten liefern (Zeiss, Abb. 9, Steinheil), aber ihre Anwendung auf den Mond und die Planeten setzt wegen der erforderlichen langen Expositionszeit eine sehr gute Nachführung durch ein Uhrwerk voraus, während sie bei den kurzbelichteten Sonnenaufnahmen ohne Nachführung benutzt werden können. Ein Teleobjektiv von 60 mm

Öffnung und 4000 mm Brennweite (Mondbild etwa 40 mm Durchmesser) würde zur guten Wiedergabe der Gegenden nahe der Lichtgrenze eine Expositionszeit von etwa 15 bis 20 Sekunden auf einer Diapositivplatte erforderlich machen. In der Nähe der Schnittpunkte seiner Bahn mit dem Himmelsäquator bewegt sich der Mond in dieser Zeit etwa 3 bis 4″ in Deklination, und auch bei exaktester Nachführung in Stunde erhält man keine sehr scharfen Bilder ohne Deklinationskorrektur. Bei Aufnahmen mit Telesystemen ist in diesem Falle die hochempfindliche Platte zu wählen.

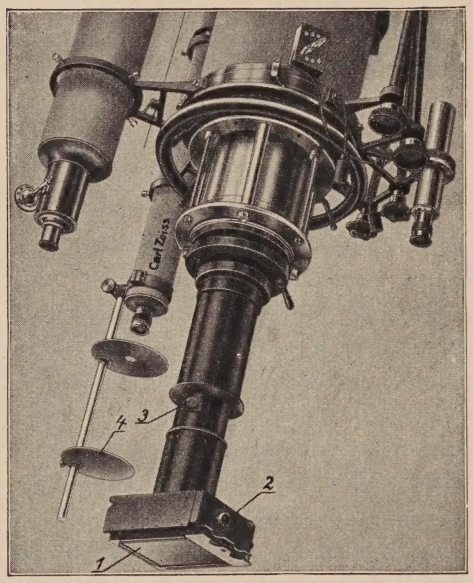


Abb. 9. Planeten- und Mondkamera von Zeiss.

Wer ein Fernrohr von mindestens 900 mm Brennweite besitzt, kann es direkt als Aufnahmeapparat benutzen. Man braucht zu diesem Zwecke nur einen Plattenansatz. Am besten benutzt man einen solchen mit Kontrollokular (Abb. 10). Das Hauptrohr R mit Anschraubgewinde G trägt an einem Ende den Kassettenhalter H mit Kassette K, und in einem Seitenansatz S das Kontrollokular O. Eine im Rohre R angebrachte unter 45^0 geneigte unversilberte Glasplatte Sp dient als Spiegel um ein Mondbild (es ist ein Doppelbild, was aber bei der Nachführung nicht stört) ins Kontrollokular zu werfen. Die Glasplatte muß beiderseitig recht gut plan sein, kann aber einen geringen Keilfehler (kleiner als $^1/_2$ Grad) besitzen, ohne

die Schärfe der Bilder zu stören. Vor der Kassette *K* befindet sich der Momentverschluß *V* mit einem Fernauslöser. Man muß einen guten, erschütterungsfrei arbeitenden Verschluß (Compur oder Compound) nehmen und für exakte photometrische Arbeiten die Zeitangaben des Verschlusses nachprüfen. Dies kann nach der recht genauen und sehr einfachen Volkmannschen Methode erfolgen. Bei dieser wird eine kleine, in einen

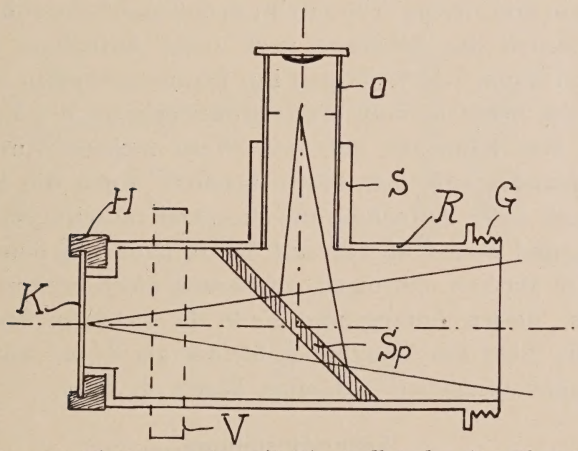


Abb. 10. Plattenansatz mit Kontrollokular für Planeten- und Mondaufnahmen.

50-Perioden-Wechselstromkreis mit eingeschaltete 4- oder 8-Volt-Lampe an der, mit dem zu prüfenden Verschluß ausgerüsteten Kamera vorbeibewegt und aufgenommen. Die Zahl der auf der Platte sichtbaren Einzelbilder der Lampe (es müssen $2 \times 50 = 100$ in einer Sekunde Belichtungszeit sein) geben die wahre Belichtungszeit in Hundertstel Sekunden an.

Kassetten

Die Kassetten-Frage ist sehr wichtig, da sie mit dem Problem der Scharfeinstellung, von welcher nachher die Rede sein soll, eng verbunden ist. Kassetten, die nur einseitig durch den Schieber zu öffnen sind, kann man nur verwenden, wenn eine gut verschließbare Öffnung in die Rückwand geschnitten wird,

durch die man zum Scharfeinstellen durchblickt. Sehr zweckmäßig ist die Goerz-Metall-Kassette (altes Modell)*) für $4^1/_2 \times 6$ Platten. Diese Kassette ist auch rückwärts zu öffnen, so daß auf eine in die Kassette eingelegte Einstellplatte scharf eingestellt werden kann. Die Kassette muß gut passend in einer hölzernen Führung gleiten, der Schieber wird auf der der Schicht zugewendeten Seite durch einen schwarzen Querstreifen in drei gleiche Teile geteilt, so daß man beim sukzessiven Herausziehen des Schiebers nach jeder Aufnahme deutlich erkennen kann, wie weit man ihn herauszuschieben hat. Die Breite des Streifens muß etwas größer sein als die Mondbildbreite. Man kann also auf diese Weise mehrere Aufnahmen hintereinander auf einer Platte machen. Auch die Kassette muß nach jeder Aufnahme um die Streifenbreite verschoben werden, und man muß sich auf der Holzführung deutlich erkennbare Marken anbringen, am besten einen breiten weißen Streifen, dessen Anfang und Ende die richtigen Stellungen anzeigen. Sind die Mondbilder kleiner als 8 mm, kann man 4 Vollmondaufnahmen auf einer Platte machen.

Scharfeinstellung

Der größte Teil aller Mißerfolge beim Photographieren ist auf Einstellfehler zurückzuführen. Jeder schwört auf die Methode, die er am besten beherrscht. Es seien zwei Methoden beschrieben.

1. In Abb. 11 ist *O* der Hohlspiegel. Der Fangspiegel ist der Einfachheit halber weggelassen. *E* ist die Brennebene, *G* die in der Kassette eingelegte Einstellplatte, die nichts anderes ist als eine gut gereinigte klare $4^1/_2 \times 6$ Platte, auf welcher nach einem Vorschlage Kreuslers ein Stanniolstreifen von etwa 10 mm Breite aufgeklebt ist. Ein Rand des Streifens geht durch die Plattenmitte. Abb. 11a ist eine Aufsicht. Wir blicken auf den Scheitel des Beobachters, *P* ist die Augenpupille. Das Teleskop wird auf einen Fixstern eingestellt.

*) Z. Zt. noch durch Zeiss-Ikon erhältlich.

Die Einstellplatte liege extrafokal. Man blickt (ohne Okular!) durch die Glasplatte nach dem Objektiv, das man voll erleuchtet sieht, wenn das Lichtbündel des Sterns in die Pupille fällt. Man gehe dicht mit dem Auge an den Stanniolstreifen heran. Jetzt schiebt man den Stanniolstreifen von rechts herein, das Auge dicht an der Einstellplatte. Plötzlich taucht (11b) der Schatten der Stanniolschneide im Objektiv von links auf, ein

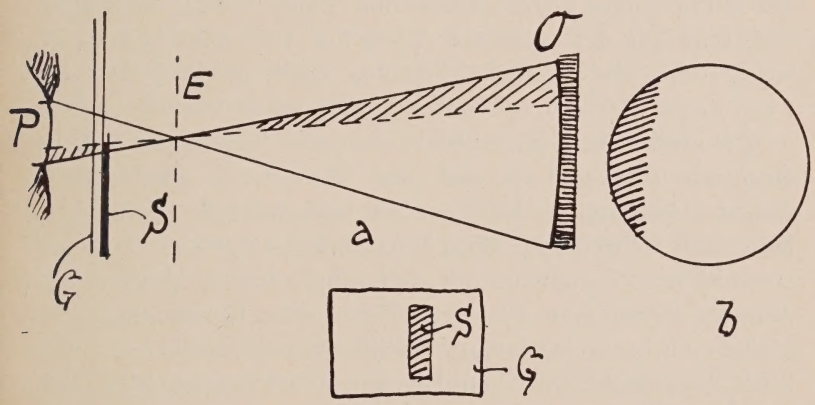


Abb. 11.

Zeichen, daß der Stanniolstreifen, der jetzt die photographische Schicht vertritt, außerhalb des Fokus liegt. Man korrigiert entsprechend und findet schließlich eine Stellung, bei der der Schatten immer plötzlicher auftaucht und zuletzt bei einem sphärisch gut korrigierten Spiegel momentan da ist und dann bei weiterer Bewegung*) allmählich von der entgegengesetzten Seite auftaucht. Jene Stellung, bei welcher der Schatten momentan auftaucht, die Erleuchtung der Objektivöffnung also plötzlich erlischt, ist die Stellung, in welcher der Streifenrand genau durch den Strahlenkreuzungspunkt schneidet, also die wirkliche Scharfeinstellung in der Brennebene. Die

*) Bewegung in diesem Falle = Annäherung an das Objektiv, nicht die seitliche Verschiebung zum Anschneiden des Strahlenbüschels,

Methode ist ungeheuer empfindlich und absolut genau. Man achte darauf, daß während des Korrigierens der Stern immer möglichst in der Mitte des Gesichtsfeldes steht (evtl. mit Lupe kontrollieren) und daß die Einstellplatte gut gegen den Kassetten rahmen anliegt. Bei Mondaufnahmen empfiehlt es sich, wenn das Mondbild über 10 mm groß ist, an verschiedenen Stellen der Schneide diese Einstellprobe vorzunehmen, um festzustellen, ob die Platte nicht schief liegt, also nicht senkrecht auf der optischen Achse des austretenden Bündels steht, oder ob auch das Teleskop nicht gut zentriert ist. Nach dieser Methode arbeitet Verfasser ausschließlich.

Die zweite Methode besteht darin, das Mondbild mit Hilfe einer sehr starken Lupe auf einer Mattscheibe scharf einzustellen. Gewöhnliche Mattscheiben sind nicht zu gebrauchen. Man stellt sich eine kornlose Mattscheibe her, indem man auf einer klaren Glasscheibe mit dem Finger einen Tropfen verdünntes Syndetikon verreibt. Nach dem Eintrocknen verbleibt eine hochfeine trübe Schicht, die bei seitlichem Aufblick, der ausschließlich zum Einstellen verwendet werden muß, das Mondbild scharf erkennen läßt.

*

Die chemischen Hilfsmittel

DIE PHOTOGRAPHISCHE PLATTE

Die Wirkungsweise der photographischen Platte beruht im Grunde darauf, daß Jod-, Chlor- und Bromsilbermoleküle bzw. Aggregate solcher in der Schicht der Platte nach einer „Reizung" durch auffallendes Licht eine zunächst unsichtbare Veränderung erleiden. Diese ermöglicht es aber durch einen chemischen Prozeß, den man Entwicklung nennt, die betreffenden Moleküle zu metallischem Silber zu reduzieren, welches infolge seiner Feinheit schwarz erscheint. Da bei den hier

allein in Betracht kommenden Verfahren das Licht selbst die Platte nicht schwärzt, sondern ihr nur ein latentes „Reizungsbild" aufdruckt, können wir diesen Reizungseffekt als Wertmesser der Belichtung leider nicht gebrauchen, sondern nur die über dem Umwege der Entwicklung erhaltene Schwärzung. Dies bedeutet, daß die Schwärzung bei Gebrauch zweier an sich völlig gleicher Plattensorten das Produkt zweier Wirkungen ist, nämlich der Belichtung sowie der Entwicklung. Zu photometrischen Zwecken können also Schwärzungen gleicher Platten nur dann verglichen werden, wenn auch die Art der Entwicklung die gleiche ist.

Die Beziehung zwischen Schwärzung und Belichtung ist je nach der Plattensorte und der Wellenlänge verschieden und lautet in der einfachsten Form (Bunsen-Roscoesches Gesetz) $S = i \cdot t$. Das Gesetz entspricht nicht ganz der Wirklichkeit; es zeigt sich nämlich, daß gleiche Lichtmengen $i \cdot t$ verschiedene Schwärzungen hervorrufen. Die Schwärzung ist bei gleichem Wert des Produkts $i \cdot t$ stärker, wenn eine große Intensität für eine kurze Zeit t wirkt. Bei gleichen Energiemengen ist also die Schwärzung um so größer, je rascher die Energie zur Wirkung gelangt (Schwarzschildeffekt). In der Schwarzschildschen Form lautet das Gesetz für gleiche Schwärzung $S = i \cdot t^p$.

Die graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Belichtung und Schwärzung nennt man die Schwärzungs- bzw. Gradationskurve. Sie ist weit wichtiger als die übliche Empfindlichkeitsangabe in Scheinergraden oder in einer anderen Skala. Diese verführt zu der irrigen Ansicht, daß eine hochempfindliche Platte unter allen Umständen bei gleicher Belichtung eine stärkere Schwärzung ergäbe als eine wenig empfindliche. Die Schwärzungskurve zweier solcher Platten belehrt uns eines anderen. Abb. 12*) zeigt die Schwärzungs-

*) Nach Dr. H. H. Schmidt, wissenschaftliches Laboratorium der Fa. Otto Perutz, Mitteilungen Nr. 3, 1927, S. 5.

kurven einer wenig empfindlichen photomechanischen Platte (*II*), einer hochempfindlichen Superrapid-Platte (*I*). Zwar beginnt die hochempfindliche Platte sich bereits bei der Lichtmenge 1,0 zu schwärzen (Schwellenwert), während die photomechanische bei 2,5 den ersten entwickelbaren Eindruck empfängt. Aber schon bei der Lichtmenge 3,1 ist die Schwärzung beider Platten gleich, da die Kurve *II* steil ansteigt. Bei der Belichtung 4 ist die Schwärzung der photomechanischen Platten jener der hochempfindlichen um das Doppelte überlegen.

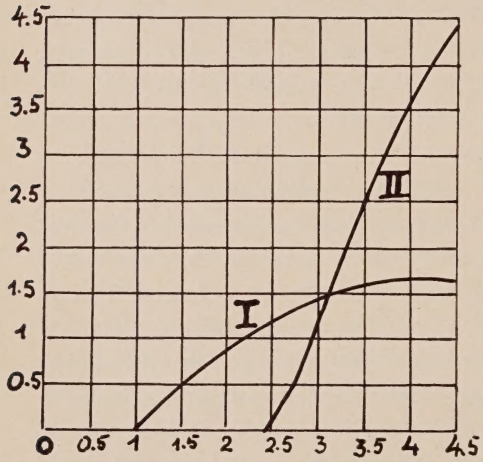


Abb. 12. Gradationskurve einer hochempfindlichen (*I*) und einer wenig empfindlichen (*II*) Platte.

Die Betrachtung beider Kurven gibt uns wichtige Aufschlüsse über die Arbeitsweise der Platten. Machen wir eine Mondaufnahme, so wird die hochempfindliche Platte auf Belichtungsunterschiede, in diesem Falle Helligkeitsunterschiede des Brennebenenbildes, von der Größe 4,5 — 2,5 = 2,0 mit einem Schwärzungsunterschied von 1,6 — 1,2 = 0,4 reagieren. Die wenig empfindliche Platte wird auf den gleichen Helligkeitsunterschied mit dem elfmal größeren Schwärzungsunterschied 4,5 — 0,1 = 4,4 reagieren. Es besteht gar kein Zweifel darüber, daß Mondaufnahmen auf derartigen photomechanischen Platten eine Fülle feinster Schattierungen liefern werden, die auf hochempfindlichen Platten niemals zu erzielen sind. Ein Blick auf die Kurve *II* legt die Frage nahe, ob wir nicht einfach die unempfindliche Platte vor ihrer Verwendung mit der Lichtmenge 2,5 belichten könnten, wodurch sie gleichsam einen Vorsprung erhalten und die Platte *I*

annähernd einholen würde. Diese Erwägung ist richtig, man nennt dieses Verfahren „Vorbelichtung", allein die Resultate entsprechen nicht ganz den theoretischen Erwartungen. Eine Empfindlichkeitssteigerung wird aber erreicht, und das Verfahren sollte daher immer wieder in Erwägung gezogen werden.

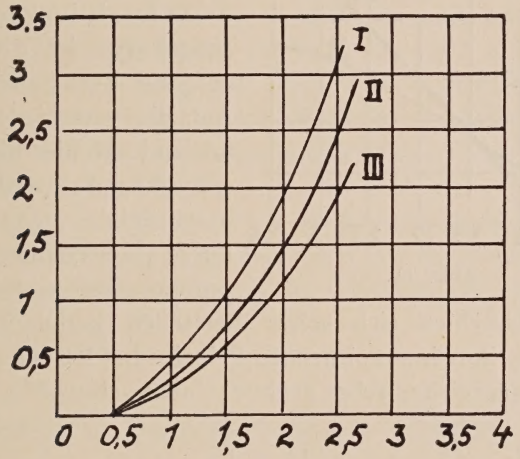


Abb. 13. Gradationskurve.

Die Empfindlichkeitsbezeichnung nach Scheinergraden wird aus dem Schwellenwert der Schwärzung abgeleitet, also aus dem Gebiet der Unterbelichtung. Dies kann wiederum zu Irrtümern Anlaß geben. In Abb. 13 sehen wir die Schwärzungskurven dreier Platten. Alle haben den gleichen Schwellenwert und damit die gleiche Empfindlichkeit nach Scheinergraden; aber die gleiche Lichtmenge 2,5 erzeugt die ganz verschiedenen Schwärzungen 3,1 (*I*), 2,5 (*II*), 1,85 (*III*). Platte *I* ist unzweifelhaft die stärker reagierende.

Auch die Dauer der Entwicklung und die Art des Entwickelns haben Einfluß auf die Gradationskurve. Dieser Einfluß kann so stark sein, daß man glauben möchte, zwei ganz verschiedene Plattensorten vor sich zu haben. Die

Abb. 14*) zeigt zwei Gradationskurven ein und derselben Platte, die lediglich zerschnitten wurde, um beide Hälften getrennt zu entwickeln. Kurve *A* entspricht einer Entwicklung in Methol-Hydrochinon, 3,5 Min., Kurve *B* in Pyrogallol stark verdünnt, 20 Min.

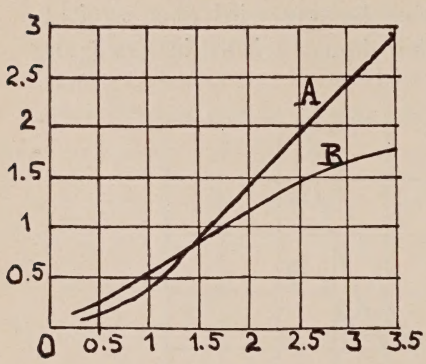


Abb. 14.

Die Ermittlung der Schwärzungskurve ist die Hauptaufgabe der Sensitometrie. Auf die verschiedenen Verfahren kann hier nicht näher eingegangen werden, wir beschränken uns auf eine kurze Darstellung des Röhrenphotometers, das man mit einigem Geschick sich selber herstellen kann. Die Richtigkeit des ihm innewohnenden Prinzips hat Eberhard durch eine umfangreiche, sehr genaue Untersuchung**) erwiesen.

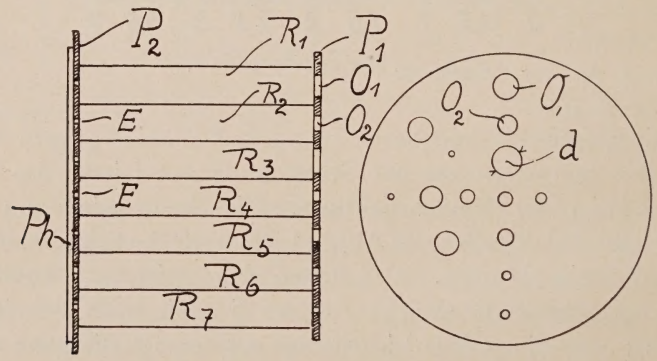


Abb. 15. Röhrenphotometer.

Ein Bündel innen geschwärzter, gleich langer, fest miteinander verbundener Röhren R_1, R_2, R_3... (Abb. 15) ist auf

*) Nach Jacobsohn, Phot. Industrie 1928, H. 15.

**) Publikationen des Astro-Physikalischen Observatoriums zu Potsdam, Bd. 26, Heft 1, 1926.

der einen Seite durch eine Platte P_1 abgeschlossen, deren verschieden große Öffnungen O genau vor den Röhrenmitten liegen. Am andern Ende befindet sich ein dünnes Blech P_2 mit lauter gleichgroßen Öffnungen E. Gegen diese Platte P_2 wird die photographische Platte Ph angepreßt. Die Löcher E kann man so klein machen, daß die auf der Platte entstehenden Schwärzungen Sternaufnahmen gleichen. Die Größen der Löcher O bilden eine Reihe, die von etwa 0,3 mm bis 3,0 mm reicht. Die Belichtung der angepreßten photographischen Platte erfolgt durch eine gleichmäßig, diffus erhellte Mattglasscheibe, die dem Photometer gegenüber steht. Die in jedes Rohr einfallende Lichtmenge ist proportional der betreffenden Öffnung O bzw. dem Quadrat des Durchmessers d. Es gilt also für die auf die photographische Platte durch zwei Öffnungen E zweier Röhren R_1 und R_2 fallenden Lichtmengen I_1, I_2 die Beziehung

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}.$$

In Größenklassen ausgedrückt ist die Differenz der Helligkeiten

$$M_1 - M_2 = 5 \log \left(\frac{d_1}{d_2}\right).$$

Das Ausmessen der Lochgrößen der Platten erfolgt nach Eberhard am besten in der Weise, daß man von den Platten Kontaktkopien auf einer photographischen Platte macht (Diapositivplatten!) und den Durchmesser der Schwärzungen unter dem Mikroskop mißt.

Nach den Untersuchungen Eberhards ist die auf die photographische Platte fallende Lichtmenge an jedem Röhrenende tatsächlich proportional den Öffnungen, so daß man mit dieser Vorrichtung für jede Platte den Zusammenhang zwischen Schwärzung und Belichtung ermitteln kann. Für die Bestimmung von photographischen Sternhelligkeiten nach der Durchmessermethode können Schwärzungsskalen, die mit dem Röhrenphotometer gewonnen sind, natürlich nicht verwendet

werden, wohl aber für die Flächenphotometrie der Planeten, des Mondes und der Kometen.

Die Untersuchungen Eberhards haben gezeigt, daß die Schwärzungskurve auf ein und derselben Platte an verschiedenen Stellen verschiedenen Charakter hat, wodurch photometrische Fehler bis zum Betrage von 0,2 Größenklassen entstehen können. Die Ursachen dieser Fehler sind in der herangezogenen Publikation ermittelt und dargelegt.

Ein sehr wesentlicher Faktor ist die sog. Plattenschärfe, welche zahlenmäßig ausgedrückt gleich ist dem kleinsten in Millimetern gemessenen Abstand, den zwei Linien oder Punkte auf der Platte noch haben dürfen, um als getrennt erkennbar zu sein. Die hochempfindlichen Platten zeigen bereits unter einer zehnmal vergrößerten Lupe deutlich eine körnige Struktur, die der Plattenschärfe eine untere Grenze bei etwa 0,03 mm setzt. Dies ist gleichzeitig die Breite der feinsten mit solch einer Platte aufnehmbaren Spektrallinie. Wesentlich größer ist die Plattenschärfe der weniger empfindlichen Platten (der Diapositiv- und photomechanischen Platten), die man im Mittel auf 0,01 mm veranschlagen kann. Nach Lehmann*) geht die Plattenschärfe der photomechanischen Platte (Korngröße etwa 0,00125) bis 0,0038 mm. Nach dieser Veröffentlichung geben die physikalisch entwickelten Platten durchweg schärfere, vom Korneinfluß erheblich befreite Bilder. Bei der physikalischen Entwicklung wird zum Unterschiede von der chemischen Silber aus dem Entwickler auf die Oberfläche der Platte niedergeschlagen.

Die Plattenschärfe läßt sich leicht durch Laboratoriums-Aufnahmen ermitteln. Sie ist ein ebenso wichtiger Faktor wie die Gradationskurve; denn aus ihr ergibt sich, was wir im äußersten Falle an Einzelheiten auf der Platte festhalten können. Bedenkt man, daß bei der Planetenphotographie die Bilder der Objekte durchwegs sehr klein sind, und es sich auch bei Aufnahmen einzelner Mondlandschaften um die Erfassung

*) Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1912, H. 10.

feinster Einzelheiten handelt, liegt die Wichtigkeit der Plattenschärfe auf der Hand. Wie leicht einzusehen, ergibt der Quotient aus Plattenschärfe und Brennweite die kleinste scheinbare Größe, die ein Objekt haben darf, um noch auf der Platte erkennbar zu erscheinen.

Da die Plattenschärfe von der Korngröße abhängt, diese aber bei ein und derselben Plattensorte außerdem von der Entwicklung und Temperatur abhängig ist, so muß man, um die Schärfe einer Platte vollkommen auszunutzen, einen Entwickler verwenden, der das Korn nicht vergröbert. Dies wird im allgemeinen für alle nicht zu stark konzentrierten Entwickler zutreffen; es gibt aber auch besondere Feinkornentwickler, worüber im Kapitel „Entwickler" Näheres gesagt wird. Für Agfa-Kontrast-Platten, photomechanische und die empfindlicheren Diapositivplatten (Hauff) leistet Rodinal 1 : 20 gute Dienste bei einer Entwicklungsdauer von nicht viel über 6 Min. Für photometrische Untersuchungen, bei denen größte Genauigkeit verlangt wird, muß nach Eberhard der Eisenoxalat-Entwickler verwendet werden, da sich nur durch ihn der sog. Nachbareffekt vermeiden läßt. Dieser besteht darin, daß die Schwärzung einer belichteten Plattenstelle nicht unabhängig ist von der Schwärzung benachbarter Teile. Dies hat zur Folge, daß ganz gleich belichtete, aber verschieden große Felder einer Platte verschiedene Schwärzungen aufweisen. Alle alkalischen Entwickler zeigen den Eberhardeffekt.

Eine weitere mit der Schwärzungskurve zusammenhängende Eigenschaft der photographischen Platte, die man mit photometrischer Schärfe bezeichnen könnte, ist der geringste Helligkeitsunterschied, den die Platte noch anzugeben vermag. Nach den Untersuchungen von A. Hnatek*) beträgt die photometrische Schärfe gewöhnlicher Platten etwa 3 bis 4% und fällt bei Diapositivplatten auf 2 bis 3%. Das Auge eines geübten Beobachters leistet das Doppelte, unter Laboratoriumsverhältnissen das Zehnfache. Bei der Oberflächenphotometrie vom

*) Ztschr. f. wiss. Phot. 16, S. 323, 1917.

Monde, von den Planeten, Kometen und Nebeln wird man die Unterscheidungsfähigkeit als wesentlich geringer annehmen müssen, etwa 5%, womit die photographische Platte wieder mindestens gleichwertig wird.

Die Herstellung photographischer Platten bietet dem, der Geschick hat und einige chemische Kenntnisse besitzt, keine allzu großen Schwierigkeiten. Im allgemeinen wird es selten vorkommen, daß ein Astronom sich selbst seine Trockenplatten herstellt, und aus diesem Grunde sei bezüglich des Herstellungsverfahrens auf die Literatur*) verwiesen. Hingegen sollte niemand den Versuch scheuen, sich mit dem nassen Kollodiumverfahren zu beschäftigen**). Die nasse Kollodiumplatte ist die billigste aller Platten. Sie kann sowohl zu direkten Aufnahmen als auch zur Herstellung von vergrößerten Diapositiven verwendet werden. Das Verfahren eignet sich nicht nur vorzüglich zur Herstellung allerkleinster Teilungen, Skalen, Fadenkreuze und Fadengitter auf Glasplatten, für Sonnenaufnahmen ist die Kollodiumplatte sogar jeder anderen vorzuziehen.

Zur Herstellung von nassen Kollodiumplatten nimmt man 2%iges geklärtes Rohkollodium. Das Kollodium wird, um es lichtempfindlich machen zu können, mit Jodsalzen und Bromsalzen versetzt. Diese Salze müssen natürlich in Alkohol löslich sein. Die Lösungen werden vor dem Gebrauch filtriert. Das beste Verhältnis von Jodsalz und Bromsalz ist 1 : 5.

Man löst 1 g Bromkadmium und 5 g Jodkadmium in 90 ccm Alkohol und mischt dazu 270 ccm 2%iges Kollodium.

Oder: man löst 1 g Jodkadmium, 0,4 g Jodnatrium, 0,3 g Bromnatrium in 30 ccm Alkohol und gießt 90 ccm Kollodium hinzu.

---

*) Vgl. z. B. H. W. Vogels, Photographie. Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn.

**) Die leicht herstellbare Chlorsilbergelatine-Emulsion für Aristopapier läßt sich auch auf Glasplatten gießen und ergibt eine gute Platte für Diapositive und auch Sonnenaufnahmen. Rezept siehe H. W. Vogel, Photographie, 1. Aufl., S. 165 u. 167.

Ein empfindlicheres Kollodium erhält man nach dem Rezept von Eder:

Man löst 7 g Jodkadmium, 3,2 g Jodammonium und 1,2 g Bromammonium in 175 ccm Alkohol, filtriert und mischt mit dem dreifachen Volumen Rohkollodium.

Auch Strontium findet Verwendung:

Man löst 10 g Jodstrontium (SrJ_2), 1,8 g Bromkadmium in 200 ccm Alkohol, filtriert und vermischt 1 Volumen dieser Lösung mit 3 Volumen Rohkollodium*).

Das also gesalzene Rohkollodium ist noch nicht lichtempfindlich. Eine damit gegossene Platte wird erst lichtempfindlich, wenn sie in das sog. Silberbad eingetaucht wird. Als solches dient eine Lösung von 10 g Silbernitrat in 100 g destilliertem Wasser. Man fügt noch 2,5 ccm einer Lösung von 1 g Jodkalium in 100 g destilliertem Wasser hinzu. Das Silberbad darf nicht alkalisch werden, sonst erzeugt es Schleier. Man setzt also dem Bade so viel Salpetersäure zu, daß sich blaues Lackmuspapier eben leicht rötet.

Alte Silberbäder arbeiten oft fehlerhaft. Man kuriert sie, indem man sie einige Tage an die pralle Sonne stellt oder indem man sie unter Umschütteln tropfenweise mit einer Lösung von übermangansaurem Kali versetzt (H. W. Vogel). Man fährt mit dem Zusatz der übermangansauren Kalilösung so lange fort, bis die zuerst bald verschwindende rosa Färbung eine Minute lang bestehen bleibt.

Die Glasplatten, die man verwendet, müssen einige Stunden in Salpetersäure gelegt werden, die man mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt. Dann wäscht man sie sorgfältig unter Wasser und übergießt die noch nassen Platten zweimal mit einer Gelatinelösung 1:300 bis 1:400, der man etwas Chromalaun zusetzt**), und läßt sie trocknen. Nach Aufgießen des Kollodiums auf die an einer Ecke anzufassende Platte läßt

*) Weniger haltbares, aber empfindlicheres Kollodium.

**) 6 ccm Chromalaunlösung 1:50 auf 300 ccm Gelatinelösung.

man es durch entsprechendes Neigen überall hinfließen und über eine Ecke ablaufen. Das Kollodium darf auf keinen Fall die haltenden Finger berühren. Die Kollodiumschicht darf nur halb trocken werden (der letzte ablaufende Tropfen muß erstarren), die Platte muß auf der Rückseite gesäubert werden, dann taucht man sie in der Dunkelkammer bei gelbem Licht in das Silberbad, und zwar ohne Stockung, sonst entstehen Streifen. Die Platte bleibt so lange im Silberbad, bis alle „Fettstreifen" verschwunden sind; mit einem Haken aus Hartgummi wird sie herausgenommen, in die Kassette gelegt und sofort exponiert.

Zum Entwickeln macht man sich eine Vorratslösung aus 16 g Kupfervitriol, 50 g Eisessig und 30 g Alkohol in 1000 ccm destilliertem Wasser. Vor dem Gebrauch fügt man 30 g Eisenvitriol hinzu, das pulverisiert aufbewahrt wird. Ein bis zwei Tropfen Essigsäure werden der Lösung beigefügt.

Im Gegensatz zur Trockenplatte sitzt das nach der Exposition entstandene noch unsichtbare Bild nicht fest auf der Schicht; man könnte es ganz leicht abwaschen. Aus diesem Grunde wird der Entwickler auf die Platte gegossen, und zwar so, daß er sofort gleichmäßig über die ganze Platte fließt. Sie wird also nicht in ein Bad gelegt. Das Entwickeln muß gleich nach der Exposition vorgenommen werden; sonst beginnt das Kollodium zu trocknen, und es entstehen Flecke.

Zum Fixieren benutzen wir entweder eine verdünnte Lösung Zyankalium (1 : 20) oder eine konzentrierte Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Bei Zyankalium besteht die Gefahr, daß es das aus metallischem Silber bestehende Bild anfrißt.

Da die Kollodiumschicht mechanisch sehr empfindlich ist, wird sie mit einem speziellen käuflichen Negativlack für nasse Platten lackiert. Man kann sie auch mit einer 2%igen Gummiarabicum-Lösung begießen und hinterher mit Zaponlack. Zaponlack allein würde das Kollodium wieder auflösen.

Die Empfindlichkeit der nassen Kollodiumplatten ist ungefähr gleich jener der photomechanischen*).

Die Entwickler

Bei Aufnahmen, die zu photometrischen Zwecken dienen, soll man stets den Eisenoxalat-Entwickler verwenden. Eberhard gibt hierfür folgendes Rezept an:

Das neutrale oxalsaure Kali wird als Vorratslösung im Verhältnis 1 : 4 in destilliertem Wasser gelöst, das Ferrooxalat (Alkohol gefälltes) erst unmittelbar vor dem Gebrauch im Verhältnis 1 : 3 und dann 1 g Zitronensäure auf 100 ccm Ferrooxalatlösung zugesetzt. Zur Entwicklung werden zwanzig Teile der Eisenlösung in 80 Teile der Kalioxalatlösung gegossen und ein bis zwei Tropfen Bromkalilösung 1 : 10 heinzugefügt. Nach Beendigung der Entwicklung wird die Platte mehrmals mit destilliertem Wasser abgespült und dann in Natriumthiosulfatlösung der üblichen Stärke fixiert. Zur Beseitigung eines etwa auftretenden Schleiers von Kalziumoxalat legt man die Platte ungefähr eine halbe Minute in Wasser, dem einige Tropfen reiner Salzsäure hinzugefügt werden.

Nach E. Vogel verfährt man wie folgt:

Lösung I: 300 g kristallisiertes neutrales Kaliumoxalat,
900 ccm destilliertes Wasser,

Lösung II: 100 g Eisenvitriol,
300 ccm destilliertes Wasser,
5 Tropfen Schwefelsäure.

Lösung III: Bromkalium 1 : 10.

Zum Gebrauch mischt man drei Teile von I mit einem Teil II und fügt, falls die Plattensorte nicht klar arbeitet, einige Tropfen III hinzu.

*) Wer sich eingehend über das Kollodiumverfahren informieren will, sei hingewiesen auf das umfassende Werk: Dr. J. M. Eder, Die Photographie mit dem Kollodiumverfahren, 3. Aufl. (Wilh. Knapp, Halle a. S.)

Bei unterexponierten Platten kann man die Entwicklung durch einen Zusatz von 10 bis 20 Tropfen Fixiernatronlösung 1 : 100 beschleunigen, ebenso durch ein Vorbad in einer Fixiernatronlösung 1 : 10000.

Der Eisenoxalat-Entwickler erfordert große Sauberkeit, namentlich gut gewaschene Hände.

Als Feinkornentwickler empfiehlt Wiedemann:

Vorratslösungen:

I.	Pyrogallol	5 g
	Natriumsulfit, wasserfrei. . .	20 g
	(oder kristallisiert	40 g)
	Kaliummetabisulfit	5 g
	Wasser	300 ccm
II.	Soda, kristallisiert	60 g
	(oder wasserfrei.	22 g)
	Wasser	300 ccm

Für die Lösung I mische man das Natriumsulfit trocken mit dem Kaliummetabilsulfit, löse die Mischung in heißem Wasser und koche die Lösung noch eine Minute, wodurch die Haltbarkeit erhöht wird. Der abgekühlten Lösung wird Pyrogallol zugesetzt.

Ein Feinkornentwickler nach F. Veldman (Focus, 2, 21. Januar 1928) ist folgende Zusammensetzung:

Metol	15 g
Natriumsulfit (kristallisiert) .	150 g
Bromkalium 10% Lösung . .	2 ccm
Wasser	1000 ccm

Einer der besten Entwickler ist Brenzkatechin, das den Vorzug hat, gegen Kälte unempfindlich zu sein. Die von Neugebauer*) etwas umgeformte Vorschrift Eders für diesen Entwickler lautet:

Lösung A: 1000 ccm Wasser,
200 g Natriumsulfit krist.,
40 g Brenzkatechin,

*) Prof. Dr. P. V. Neugebauer, Rezepthandbuch des Amateurphotographen, hrsg. v. F. W. Frerk (Guido Hackebeil, Berlin).

Lösung B: 1000 ccm Wasser,
240 g Pottasche.
Lösung C: 1000 ccm Wasser,
28 g Ätznatron.

Es ist nach Neugebauer zu mischen:

Bei Unterbelichtung: 1 Teil A + 1 Teil C + 4 bis 12 Teile Wasser,

Normalbelichtung: 1 Teil A + 1 Teil B + 10 bis 12 Teile Wasser (weich arbeitend),

„ 1 Teil A + 1 Teil B + 4 bis 5 Teile Wasser (hart arbeitend),

Überbelichtung: 3 Teile A + 1 Teil B.

Die Lösungen A bis C halten sich mindestens 6 Monate.

Die zur Herstellung obiger drei Lösungen erforderlichen Chemikalien kosten nicht ganz 3.— RM.

Zu den im Handel erhältlichen Entwicklern ist folgendes zu bemerken:

Der haltbarste Entwickler ist Glyzin, der in bis zum Halse gefüllten Flaschen monatelang brauchbar bleibt. Glyzin ist sehr empfindlich gegen Spuren von Fixiernatron. Bromkalium wirkt sehr stark verzögernd.

Metol arbeitet nicht sehr kontrastreich, man verwende deshalb die Kombination Metol-Hydrochinon.

Das sehr rasch arbeitende Rodinal (man verwendet es am besten 1:20) ist, einmal angesetzt, sehr wenig haltbar, da es aber in starker Verdünnung verwendet wird, spielt das keine besondere Rolle.

Bezüglich des Fixierens, dessen Technik als bekannt vorausgesetzt werden kann, sei nur bemerkt, daß das sehr schnell arbeitende Schnellfixiersalz auch für astronomische Aufnahmen verwendet werden kann. Es hat den Vorteil, daß man schon nach wenigen Minuten die Aufnahme studieren kann, was zum Beispiel bei Probeaufnahmen zur Kontrolle der Einstellung Zeitgewinn bedeutet.

Die Sensibilisierung der photographischen Platten

Die normale photographische Platte ist nur für den blauen, violetten und ultravioletten Teil des Spektrums empfindlich. Schon 1873 entdeckte H. W. Vogel, daß man Platten durch Baden in bestimmten Farblösungen auch für gelbes, grünes und rotes Licht empfindlich machen kann; dies gilt für Trockenplatten und für Kollodiumplatten.

Obwohl man heute dank der hochentwickelten Technik der Sensibilisierung photographische Platten im Handel bekommen kann, die sowohl gelbgrün empfindlich (orthochromatisch) als auch für das ganze sichtbare Spektrum empfindlich (panchromatisch) sind, ist doch die Kenntnis und Beherrschung der an sich durchaus einfachen Sensibilisierungs-Technik für den Astronomen unerläßlich, wenn er Platten höchster Empfindlichkeit zur Verfügung haben will. Die im Handel befindlichen Platten müssen natürlich eine gewisse Haltbarkeit besitzen und dieser Haltbarkeit ist ein Teil der Empfindlichkeit zu opfern. Aus diesem Grunde sind die Platten, die man sich selbst sensibilisiert und hypersensibilisiert, im allgemeinen nicht sehr haltbar, dafür aber an Empfindlichkeit den käuflichen Platten erheblich überlegen.

Eine ausführliche Darstellung des Sensibilisierungsverfahrens findet sich im Pina-Handbuch der Farbwerke vorm. Meister Lucius & Brünning, Höchst a. M. (1917). Von den Sensibilisierungs-Farbstoffen seien besonders empfohlen: Pinachrom, mit welchem man über das Orange hinaus bis zur C-Linie kommt, ferner Pinaverdol, das ein vorzüglicher Grünsensibilisator ist. Die grüne Wasserstofflinie in Sternen mit Emissionsspektrum, z. B. γ Cassiopeiae, erhält man auf Spektrogrammen nur, wenn die Platte gut grün sensibilisiert ist. Es sei besonders hingewiesen auf das im Pina-Handbuch ausführlich beschriebene Königsche Verfahren der Sensibilisierung.

Durch Zusatz gewisser Lösungen zu den Farbstoffbädern läßt sich die Empfindlichkeit der Platte noch erhöhen. Eine

solche Empfindlichkeitssteigerung tritt schon ein, wenn man eine gewöhnliche Platte bei 10° Celsius 1,5 Min. in 4%iger Ammoniaklösung badet, schnellstens trocknet und sofort verwendet*). Man kann diese Wirkung auch erreichen, wenn man die Platte über eine offene mit Salmiakgeist gefüllte Schale mehrere Minuten den Dämpfen aussetzt. Es hat den Vorteil, daß die Platte dabei trocken bleibt.

Nach Jacobsohn läßt sich die Empfindlichkeit einer mit Pinachrom sensibilisierten Platte um das 4- bis 5fache steigern, wenn man dem Bade eine 3%ige Ammoniaklösung zusetzt. Unter einer 3%igen Ammoniaklösung wird eine Lösung von 3 ccm 25%iger Ammoniaklösung in 100 ccm Wasser verstanden. Jacobsohn empfiehlt ferner folgendes Bad: 500 ccm destilliertes Wasser, 250 ccm Alkohol, 7 ccm Pinachromlösung 1 : 1000 (alkoholisch), 7 ccm Pinachromviolett-Lösung 1 : 1000 (alkoholisch), 22,5 g einer Lösung von 0,8 g Silberchlorid in 100 ccm Ammoniaklösung. Die Platten werden 3 Minuten gebadet und dann in 30% Alkohol 2 Minuten lang gewaschen und dann getrocknet. Die Empfindlichkeit wird um das 6- bis 7fache gesteigert.

P. Guilleminot**) gibt eine Vorschrift für Hypersensibilisierung, mit deren Hilfe es gelingt, die Empfindlichkeit einer Diapositivplatte einer normalen Negativplatte gleichzumachen. Die Vorschrift, die sich für alle Farbstoffe als gut erwies, lautet für das Bad:

40 ccm destilliertes Wasser, 40 ccm Alkohol (90%), 4 ccm Farbstofflösung 1 : 1000, 10 ccm 10%ige ammoniakalische Silberchloridlösung.

Der Farbstoff, der bei diesem Verfahren die Empfindlichkeit der Diapositivplatte so außerordentlich steigert, ist Pinaverdol.

Um Platten zu erhalten, deren Empfindlichkeit ins Rot und Ultrarot geht (700 bis 800 $\mu\mu$), verfährt man nach Jacobsohn wie folgt:

*) Filmtechnik 1927, Nr. 9.

**) Revue Française de Phot. 181, 2. Juli 1927, S. 190.

Wir machen eine Vorratslösung von Kryptozyanin 1:2000 in Methylalkohol. Das Sensibilisierungsbad besteht aus 500 ccm destilliertem Wasser + 1 ccm Vorratslösung. Essigsäure wird tropfenweise bis zur Entfärbung des Bades zugefügt. Die Platte wird eine Minute in dieser Lösung gebadet, kurz abgespült, in 2%ige Boraxlösung gebracht, worauf die Farbe wiederkehrt, und alsdann mit einem Fön im kühlen Luftstrom getrocknet. Das Arbeiten mit Kryptozyanin soll nicht schwerer sein als mit anderen Sensibilisatoren.

Beim Baden der Platten muß die Farblösung durch unregelmäßiges, leichtes Kippen der Schale in dauernder Bewegung erhalten werden!

*

Die Objekte

DER MOND

Wer einmal den Versuch gemacht hat, am Fernrohr eine Mondlandschaft zu zeichnen, weiß, wie schwer es ist, auch nur annähernd die richtigen Proportionen wiederzugeben. Eine selbstangefertigte Mondaufnahme enthebt uns der Mühe und gibt uns die Hauptzüge der Mondlandschaft naturgetreu wieder. Mit einer blaß gehaltenen Vergrößerung der betreffenden Gegend auf einem matten Gaslichtpapier können wir daran gehen, am Fernrohr die beobachteten feineren Einzelheiten in den photographischen Grundriß einzutragen.

Die Helligkeit des Vollmondes beträgt, in Größenklassen ausgedrückt, $-12{,}55^{M}$, seine Helligkeit ist also nur etwa der 460000ste Teil der Sonnenhelligkeit (Sonne -26^{M}). Infolge der Struktur der Mondoberfläche, die nach den photometrischen Untersuchungen Schoenbergs mit kleinen Gruben übersät sein muß, ist die Helligkeit nicht proportional der beleuchtet erscheinenden Fläche, sondern nimmt in erheblich stärkerem Maße bei schmäler werdender Mondsichel ab. Diese durch die Unebenheiten der Mondoberfläche und die damit verbundene

Schattenbildung bei schrägem Lichteinfall bedingte Helligkeitsabnahme hat zur Folge, daß bei richtig exponierter Licht- und Schattengrenze die Mondgegenden mit steilerem Lichteinfall stark überexponiert erscheinen. Bei photographischen Aufnahmen des Mondes ist auf diesen Umstand Rücksicht zu nehmen. Man kann bei Herstellung von Vergrößerungen die krassen Schwärzungsunterschiede bis zu einem gewissen Grade ausgleichen; allein derartig hergestellte Bilder haben höchstens einen kartographischen Wert, während die Helligkeitsverhältnisse nicht mehr richtig wiedergegeben sind.

Die Skala der Tonabstufungen auf dem Monde ist also sehr groß; wenn wir uns an das im Kapitel über die photographische Platte Gesagte erinnern, ergibt sich, daß man für die Photographie des Mondes eine Platte von steiler Charakteristik verwenden muß, deren geradliniger Teil einen möglichst großen Schwärzungsumfang beherrscht. Dies ist die photomechanische (Chlor-Bromsilber-) Platte, die bei etwa 3 bis 5^0 Scheiner Empfindlichkeit eine weit größere Skala von Schwärzungen besitzt als eine hochempfindliche Platte und eine steile Charakteristik noch dort zeigt, wo auf der hochempfindlichen Platte erheblichen Helligkeitsunterschieden nur noch geringe Schwärzungsunterschiede entsprechen (siehe Abb. 12 S. 48). Dies schließt nicht aus, daß man trotzdem auch unter bestimmten Voraussetzungen hochempfindliche Platten verwendet. Man wird dies da tun, wo es darauf ankommt, die Expositionszeit auf ein Minimum zu verkürzen (z. B. Aufnahmen bei feststehendem Rohr) und wo man sich mit der Wiedergabe der Helligkeitswerte in der Nähe der Lichtgrenze begnügt. Welch außerordentlich schöne Aufnahmen auf diese Weise erzielt werden können, zeigt die Hoffmannsche Aufnahme auf dem Titelbild (I). Die gröbere Plattenstruktur der hochempfindlichen Platten zersetzt naturgemäß feinere Einzelheiten, aber der störende Einfluß dieses Faktors ist weit geringer als man vermuten möchte. Mondnegative auf hochempfindlichen Platten sehen auch bei bester Schärfe etwas

eintönig aus und man muß deshalb die Vergrößerungen auf hart arbeitenden Gaslichtpapieren (Chlorsilberpapier) herstellen. (Hart arbeitende Bromsilberpapiere gibt es nicht!)

Die zahlreichen Tönungen der Mondmeere kann man nur bei Verwendung der weniger empfindlichen Platten von großem Schwärzungsumfang festhalten. Platten, die sich für diese Zwecke eignen, sind: Graphos-Platte von Gebr. Gebhardt, Berlin-Niederschönhausen, Agfa-Kontrast, Hauff-Diapositiv und Perutz-Diapositiv. Normale Diapositivplatten (2 bis 3^0 Scheiner) sind im allgemeinen zu unempfindlich für die Mondphotographie, es sei denn, daß man ein gutes Uhrwerk besitzt und ruhige Luft ein längeres Exponieren gestattet. Die Hauff- und die Perutz-Diapositivplatte haben den Charakter einer photomechanischen Platte; hierzu kommt neuerdings die Hauff-Prozeßplatte 7^0 Scheiner.

Nebenstehende Abbildung 16 zeigt eine Aufnahme der Mondapenninen auf Hauff-Diapositiv bei etwa zwei Sekunden Exposition. Die Aufnahme gibt im Mare Vaporum, Sinus Aestuum und im Palus putredinis eine große Menge von Streifen und Flecken aller Schattierungen wieder, die man mit hochempfindlichen Platten nicht erfassen kann. Die Aufnahme ist mit verlängerter Brennweite aufgenommen, wobei das verwendete Spiegelteleskop (Öffnung 182 mm) nur noch ein Öffnungsverhältnis von etwa 1 : 28 hatte.

Eine Platte, die bei großer Empfindlichkeit (14^0 Scheiner) der Diapositivplatte hinsichtlich des Umfanges ihrer Schwärzungsskala fast gleichkommt, ist die Perutz-Silbereosinplatte. Sie ist für Mondaufnahmen, bei denen die Brennweite des verwendeten Instruments vervierfacht oder verfünffacht wird, der Diapositivplatte vorzuziehen, deren in diesem Falle recht lange Belichtungszeit den Einfluß der Luftunruhe zu groß werden läßt. (Siehe Abb. 17.)

Photographiert man den Mond direkt im Fokus des Fernrohrs, so genügt bei einem Öffnungsverhältnis 1 : 10 für Voll-

mondaufnahmen eine Expositionszeit von $^1/_{10}$ bis $^1/_5$ Sekunde*). Beim ersten und letzten Viertel wird die Expositionszeit etwa verdreifacht werden müssen. Bei Verwendung einer

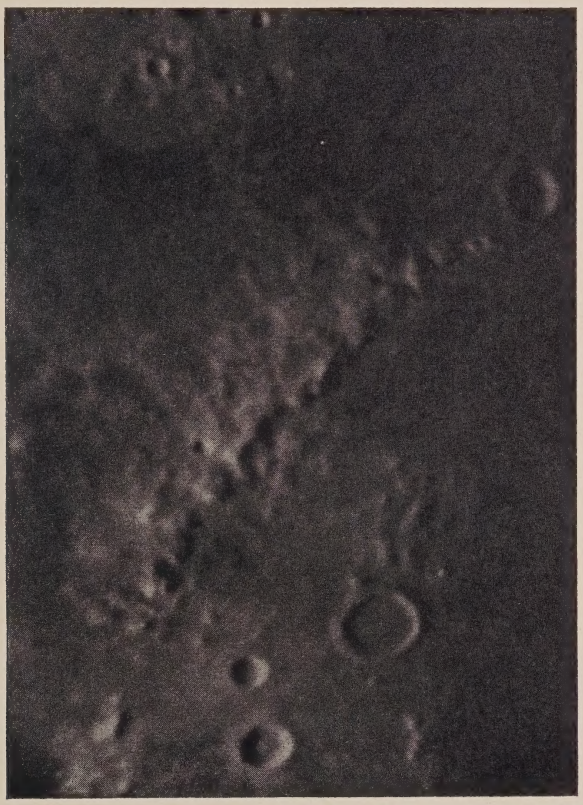


Abb. 16.

Barlowlinse sind die Expositionszeiten mit dem Quadrate des Brennweiten-Verlängerungsfaktors zu multiplizieren, also bei Verdoppelung der Brennweite zu vervierfachen. Mit recht gutem Erfolge hat Mündler das Okular als Vergrößerungs-

*) Ein eben noch brauchbares Bild erhält man auf Agfa-Kontrast sogar bei $^1/_{25}$ Sek. Belichtung.

objektiv benutzt, um große Mondbilder zu erzielen*). Das Okular wird als photographisches Objektiv benutzt, und es

Abb. 17. Theophilus, Cyrillus und Katharina.
Aufnahme mit Spiegelteleskop auf Perutz-Silbereosinplatte.

entwirft ähnlich wie das Objektiv einer Laterna magica ein vergrößertes Bild des Refraktorbildes auf die photographische

*) Sirius 1925, H. 5 u. 10.

Platte. Es sind natürlich Okulare möglichst langer Brennweite zu verwenden, sonst kann man keine bis zum Rande scharfen vergrößerten Mondbilder bekommen. Die Brennweite des Okulars sollte möglichst das Dreifache des Mondbilddurchmessers betragen. Ein Brennpunktsbild des Mondes von 9 mm Durchmesser sollte also mit Hilfe eines Okulars von mindestens 30 mm Brennweite vergrößert werden. Der Durchmesser der zum Photographieren benutzten Okularlinse muß größer sein als der Durchmesser des Mondbildes in der Brennebene des Fernrohrs, sonst werden die Strahlen der Randpartien im Okular abgeblendet.

Exposition

Die Gesamthelligkeit des Mondes im ersten und letzten Viertel ist ungefähr der 9. bzw. 10. Teil jener des Vollmondes, nicht die Hälfte, wie man erwarten würde. Das bedeutet eine erhebliche Verringerung der Flächenhelligkeiten, mithin eine relativ große Verlängerung der Expositionszeiten (ca. das Dreifache).

Man benutze einen guten Verschluß mit Fernauslösung (der Compur-Verschluß hat sich bei meinen Aufnahmen als erschütterungsfrei erwiesen), exponiere entweder nach Zählen oder unter Benutzung der für genaueres Arbeiten vorher zu prüfenden Momentmechanik (Luftzustand, Höhe und Phase des Mondes bedingen wechselnde Helligkeitsverhältnisse) von $0^s,2$ bis $1^s,0$. Zu dunkle Aufnahmen kann man durch Abschwächer klären, wobei allerdings die photometrischen Verhältnisse verfälscht werden. Der Ammoniumpersulfat-Abschwächer eignet sich am besten, da er die dichtesten Stellen am stärksten angreift und die Feinheiten an der Lichtgrenze nicht zerstört. Das Einlegen in ein Fixierbad unterbricht sofort die Wirkung des Abschwächers. Man achte darauf, daß die in jedem Verschluß vorhandene, im vorliegenden Falle überflüssige Blende ganz offen ist! Es gehört einige Übung dazu, die drei Betätigungen: 1. Beobachtung des Mondes im Leitfernrohr bzw. Kontrollokular, 2. Nachführung, 3. Drücken

des Verschlusses, in gute Übereinstimmung zu bringen. Man vergewissere sich genau, daß der Mond tatsächlich unbehindert und ganz auf der Platte abgebildet ist, wenn er an der ins Auge gefaßten Stelle im Leitfernrohr steht. Man notiere bei jeder Aufnahme grundsätzlich Jahr, Tag und Stunde sowie die abgezählte Expositionszeit (der Doppelschlag der Taschenuhr gibt $^2/_5$ Sekunden an), auch wenn die Aufnahme mißglückt ist oder einem nicht wertvoll erscheint, ferner die Art des Entwicklers, Konzentration und Dauer der Entwicklung. Bei Benutzung eines Kontrollokulars besteht infolge der starken Vergrößerung die Möglichkeit, die Qualität des Bildes zu erkennen und in den Momenten ruhigster Luft aufzunehmen. Bei Benutzung des Suchers ist das nicht möglich.

Will man Mondaufnahmen herstellen, bei denen nur bestimmte Spektralbezirke wirksam sind, z. B. Mondaufnahmen in orangefarbigem oder rotem Lichte, so ist es das einfachste, entsprechende Gelatinefilter direkt in die Kassette einzulegen. Wir brauchen dann an der Scharfeinstellung nichts zu ändern, wenn wir mit dem Spiegelteleskop in Verbindung mit der Barlowlinse arbeiten, da die Verschiebung der Platte aus der Brennebene um den Betrag der Foliendicke keine Rolle spielt; andernfalls ist eine kompensierende Verschiebung um diesen Betrag vorzunehmen. Eine neue Scharfeinstellung durch das Filter dürfte nur mit Hilfe sehr heller Sterne gelingen. Bei Benutzung des Refraktors muß der beste Fokus für den betreffenden Farbbezirk durch Probeaufnahmen ermittelt werden. Selbstverständlich muß man Platten benutzen, die für die betreffenden Farben empfindlich sind. Auf Agfa-Chromo-Isorapid und Perutz Perorto kann man mit einem Öffnungsverhältnis 1 : 10 des Spiegelteleskops bei fünf Sekunden Belichtung durch ein Lifa-Orangefilter vollkommen durchexponierte Vollmondbilder erhalten. Geringe Unterschiede der Farbtönung einzelner Mondgebiete sind schon auf diesen Aufnahmen zu erkennen. Um erhebliche Kontraste gegenüber den Blau- und Violettaufnahmen (Diapositivplatten sind nur

blau- und violettempfindlich) zu erzielen, muß man schon Rotfilter verwenden und natürlich entsprechend sensibilisierte Platten. Die Sensibilisierungs-Verfahren sind in einem besonderen Kapitel S. 60 bereits erörtert.

Zum Schlusse möge auf die bemerkenswerte Tatsache hingewiesen werden, daß die Instrumente kleinerer Öffnung hinsichtlich ihres photographischen Wirkungsgrades den Instrumenten mit großer Öffnung erheblich überlegen sind. Unter photographischem Wirkungsgrad soll der Prozentsatz der visuellen Definitionskraft des Teleskops, der auf der photographischen Aufnahme zur Geltung kommt, verstanden werden. Die prächtigen Mondaufnahmen des Hooker-Spiegels (258 cm Durchmesser) zeigen als kleinste Einzelheiten Objekte von durchschnittlich 0,82″ Durchmesser. Das ist rund 6% der visuellen Definitionskraft dieses Instrumentes. In Verbindung mit einer Barlowlinse bei Nachführung mit der Hand läßt sich mit einem Spiegelteleskop von 18 cm Öffnung eine photographische Definition von 2″ erreichen. Das bedeutet einen Wirkungsgrad von 30%. Die Ursache dieses erheblich größeren Wirkungsgrades, der durch Anwendung eines Uhrwerks noch vergrößert werden kann, liegt in dem wesentlich geringeren Einfluß der Luftunruhe beim kleineren Instrument. Man dürfte mit einem Spiegel von 40 bis 50 cm Öffnung die photographischen Leistungen des Hooker-Spiegels bei guter Luft und Verwendung wenig empfindlicher Platten erreichen können.

DIE SONNE

Die außerordentliche Lichtfülle und die erhebliche Erwärmung von Teilen des Instruments machen Sonnenaufnahmen schwerer, als man zunächst anzunehmen geneigt ist. Bei der Benutzung eines Spiegelteleskops hat man den großen Vorteil, einen unversilberten, rückseitig mattierten, aber nicht geschwärzten (!) Fangspiegel benutzen zu können, wodurch eine merkliche Temperaturerhöhung in der Brennebene über-

haupt nicht stattfindet. Man kann die Hand, ohne Wärme zu fühlen, an das Fokusbild der Sonne heranbringen. Da so viel Licht zur Verfügung steht, kann man sich der Projektionsmethode bedienen und mit Hilfe eines kurzbrennweitigen photographischen Objektivs das Fokusbild der Sonne vergrößert auf die photographische Platte werfen. Das Licht muß in diesem Falle in einer Richtung das Objektiv passieren, die derjenigen bei normaler Verwendung entgegengesetzt ist. Die Aufgabe besteht also darin, am Okularstutzen eine Kamera anzubringen, deren umgekehrtes Objektiv ein vergrößertes Bild vom Brennpunktsbild der Sonne auf die Platte wirft. Um eine dreifache Vergrößerung zu erzielen, muß die photographische Platte sich in einer Entfernung von 4× der Brennweite des Objektivs von diesem (streng genommen von seiner Hauptebene) entfernt befinden. Diese Entfernung stellt man ein und fokussiert durch Heranschieben der Kamera an das Fokusbild im Teleskop. Zu Sonnenaufnahmen verwendet man auch besondere Telesysteme. Abbildung 16 zeigt eine derartige Kamera der Firma Carl Zeiss, wie sie auch für Mond und Planetenaufnahmen benutzt wird.

Man benutzt für Sonnenaufnahmen möglichst unempfindliche Platten, also Diapositivplatten von etwa 1 bis 2 Grad Scheiner. Sehr gut eignet sich auch die fast kornlose Dia-Graphosplatte der Firma Gebhardt und Co. Am besten sind Kollodiumplatten, die man sich selbst herstellen kann*). (Vgl. Kap. „Die photographische Platte".)

PLANETEN

Im Kapitel über Mondphotographie wurde darauf hingewiesen, daß der große Hooker-Spiegel bei den prächtigen mit ihm hergestellten Mondaufnahmen einen photographischen Nutzeffekt von nur 6% zeigt gegenüber 30%, die sich bei

*) Ebenfalls selbstherstellbare Chlorsilbergelatineplatten mit der Emulsion des Aristopapieres.

einem relativ kleinen Instrument erzielen lassen. Hierbei soll allerdings nicht vergessen werden, daß die Gefahr besteht, das Optimum des kleinen Teleskops mit der Durchschnittsleistung des großen zum Nachteil des letzteren zu vergleichen. Dies ist hier nicht zu befürchten, denn die betreffenden Aufnahmen wurden ohne Uhrwerk hergestellt. Mit Uhrwerk steigt der photographische Nutzeffekt über 30% und mehr. Bei der verschiedenartigen Leistung der großen und kleineren Objektive und Spiegel ist zu beachten, daß die Definitionskraft eines Objektivs nicht mit seiner Oberfläche, sondern mit seiner linearen Größe, nämlich seinem Durchmesser wächst.

Nehmen wir an, das große Instrument habe einen Nutz-Effekt von 10%, das kleine einen von 30%, so darf es bei gleicher Leistung den dritten Teil des Durchmessers besitzen, bei 6% den fünften Teil. Das bedeutet, daß ein Spiegel von 18 cm Öffnung unter Umständen die Leistung eines Spiegels von 54, im zweiten Fall 90 cm erreichen würde*).

Die kleineren Instrumente haben im Hinblick auf die Planeten-Photographie den Mangel relativ kurzer Brennweite. Jupiter wird bei 46″ Durchmesser von einem Objektiv von 1 m Brennweite als Scheibchen von etwa 0,22 mm Durchmesser abgebildet. Mit einem so winzigen Bilde ist nichts anzufangen. Auf Aufnahmen mit einem Spiegel 1800 mm Brennweite kann man zwar die gröbsten Jupiterstreifen, Saturn und seinen Ring mit Durchblick durch die Ansen sehen, bei 20″ Durchmesser auch auf der winzigen Marsscheibe die Phase erkennen, sowie den Helligkeitsabfall vom Ostrand nach dem Westrand; das ist aber auch alles.

Zur Planeten-Photographie gehören also große Brennweiten. Schmidt verwendete zu seinen schönen Jupiter- und Mars-Aufnahmen einen Spiegel von 33 m Brennweite. Objektiv und Platte sind so beträchtlich voneinander entfernt, daß es nicht jedermanns Sache ist, mit Erfolg ein solches Instrument

*) Bei guter Luft erzielte Verfasser mit einem 182-mm-Spiegel Jupiter-Aufnahmen mit 1.2″ Streifentrennung.

zu bedienen. Auch ist hier ein absolut zuverlässiges Uhrwerk unerläßlich, da das Öffnungsverhältnis 1 : 100 eine längere Belichtungszeit erforderlich macht.

Dem Übel der zu kurzen Brennweite ist durch Anwendung einer Barlowlinse abzuhelfen, die allerdings für photographische Zwecke korrigiert sein muß. Man hat bei dieser Methode den außerordentlichen Vorteil kurzer Rohrlänge; das Instrument bleibt starr und ist gegen leichte Windstöße unempfindlich.

Während man bei Mondaufnahmen zur Nachführungskontrolle sich noch eines Suchers mit starker Vergrößerung bedienen kann, muß man bei Planetenaufnahmen doch zur Methode des Zwischenspiegels (Abb. 10) schreiten. In das Gesichtsfeld des Kontrollokulars legen wir uns ein kreisrundes, dünnes, völlig klares Gelatineblättchen, auf welchem sich ein rechtwinkliges Liniennetz befindet, dessen Quadrate 2 bis 2,5 mm Seitenlänge haben. Die Linien zieht man vorher mit Hilfe einer feinen Nadel und schneidet das Blättchen in erforderlicher Größe aus. Mit Rücksicht auf Feuchtigkeitseinflüsse empfiehlt es sich, wenn möglich statt Gelatine glasklaren Film zu verwenden. Die mit einer feinen Nadel gezogenen Linien erscheinen im Gesichtsfeld nachher vollkommen schwarz. Dieses Netz dient dazu, die einzelnen Aufnahmen des Planeten ohne Verschiebung der Platte schachbrettartig auf ihr anzuordnen. Da man im Okular den mittleren Teil der Brennebene beobachtet, die allein für die Aufnahme in Betracht kommt, so kann man durch Einstellen des Kontrollbildes des Planeten auf die verschiedenen Kreuzungspunkte des Netzes die gleiche Ordnung in die Bildfolge auf der Platte bringen. Auf einer Platte $4^1/_2 \times 6$ lassen sich durch dreimalige Verschiebung drei solcher Bildgruppen von etwa je 20 Bildern aufnehmen. Aus dem Zeitpunkt von Anfang und Ende der Aufnahme läßt sich der Zeitpunkt der Aufnahme für ein einziges Bild mit einer in diesem Falle hinreichenden Genauigkeit ermitteln.

Auf dem Titelbild (*II*) sind drei Jupiter-Aufnahmen von 1928, Sept. 17, hergestellt mit einer Kombination von Spiegelteleskop mit Barlowlinse nebst Kontrollokular (Spiegelplanetograph). An einem auffälligen Paar dunkler Flecke des südtropischen Bandes ist die Rotation des Planeten deutlich erkennbar. Die Breite der Zonen und Bänder auf Jupiter läßt sich durch Vermessung photographischer Aufnahmen unter Verwendung einer Lupe ermitteln. Die photographischen Aufnahmen gestatten es uns, unter dem Mikroskop eine Reihe von Lagenbestimmungen in aller Ruhe vorzunehmen, die am Instrument selbst die Anwendung eines Uhrwerks und eines recht guten Mikrometers voraussetzen. Durch mikrophotometrische Ausmessung der Schwärzungen können wir Diagramme der Helligkeitsverteilung auf dem Planeten ableiten.

Die Belichtungszeiten sind bei Verwendung ein und desselben Instruments bei den einzelnen Planeten recht verschieden; man kann sich nicht nach den visuellen Flächenhelligkeiten richten. Danach müßten Mars, Saturn und der Mond die dreifache Expositionszeit beanspruchen wie Jupiter, was keineswegs der Fall ist. Will man beim Mars Einzelheiten aufnehmen, so müssen Orange- bzw. Rot-Filter vorgeschaltet werden. Dies ist kein Hindernis, Diapositiv- bzw. photomechanische Platten zu verwenden, da auch sie für Gelb und Rot sensibilisiert werden können. Photographiert man ohne Filter auf nicht sensibilisierten Diapositivplatten, so erhält man ein Bild der Marsatmosphäre ohne irgend welche Farbtönungen der Oberfläche. Vorzüglich geeignet ist die Perutz-Silbereosinplatte. (Siehe Titelbild III.)

Die kürzeste Expositionszeit erfordert Venus*). Wenn auch kaum zu erwarten ist, daß besondere auffällige Einzelheiten sichtbar werden, könnte doch eine systematisch in verschiedenen Spektralbezirken durchgeführte Photographie dieses Planeten, ausgedehnt wenn möglich über mehrere Umläufe, wertvolles Material für eine photometrische Untersuchung liefern. Wer

*) Vgl. „Die Sterne" 1928, Heft 11/12.

Ausdauer besitzt, wird auf Aufnahmen im kurzwelligen Licht gelegentlich einmal zarte Gebilde erhalten. Notwendig ist es, hierbei auf jede Aufnahme eine Helligkeitsskala, am besten mit Hilfe eines Röhrenphotometers (siehe S. 50) unter Verwendung einer Hefnerkerze aufzukopieren.

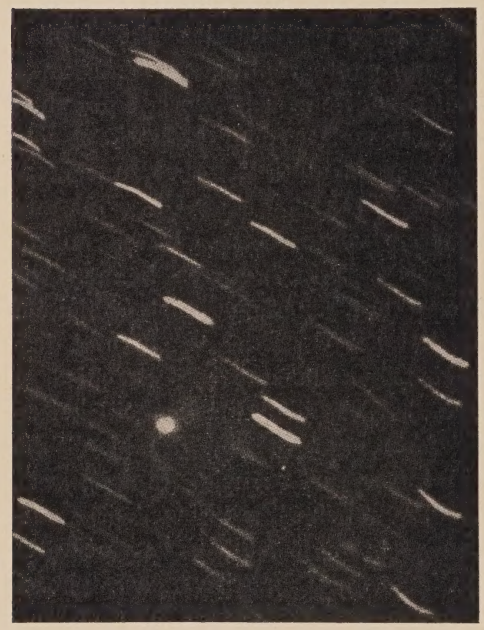


Abb. 18. Aufnahme des Kometen Reid 1921 a von Max Beyer, ohne Uhrwerk aus freier Hand exponiert 1921 Mai 7 10 Uhr 50 Min. bis 14 Uhr 05 Min. (Aus Sirius 1921, 7/8)

Da die Planeten sich relativ rasch vor dem Himmelshintergrund verschieben, kann man zwei im geeigneten Zeitabstand aufgenommene Bilder zu einem stereoskopischen Paar vereinigen. Man muß natürlich ausprobieren, welches Bild rechts und welches links aufgeklebt werden muß, damit der Planet vor dem Himmel zu schweben scheint (auf dem linken Bilde muß das Objekt nach rechts und auf dem rechten Bilde nach links gegen den Himmelshintergrund verschoben sein). Derartige Stereoskopaufnahmen macht man aber nicht mit dem Teleskop, sondern mit der Kamera.

KOMETEN

Selbst mit bescheidenen Mitteln läßt sich bei einiger Ausdauer auf dem Gebiete der Kometenphotographie gelegentlich ein hübsches Resultat erzielen. Wie die Aufnahme des

Kometen Reid 1921 a von Max Beyer zeigt, kann man diese seltenen Gäste unseres Planetensystems mit einer Kamera von 40 mm Öffnung, Öffnungsverhältnis 1 : 3,5, auf die Platte bannen (Abb. 18). Es ist nicht jedermanns Sache, anderthalb Stunden am Fernrohr zu stehen und nachzuführen, aber wer auf feinere Einzelheiten in der Aufnahme (Schweifstrahlen) verzichtet und sich mit der Aufnahme des Kometenkopfes begnügt, wird bei dem gleichen Öffnungsverhältnis und einer Expositions-

Abb. 19. Aufnahme des Kometen Pons-Winnecke 1927 Juni 26 0 Uhr 50 Min. M.E.Z.

zeit von 20 bis 30 Minuten einen Kometen sechster bis siebenter Größe (Gesamthelligkeit) auf der Platte festhalten können.

Sehr lichtstarke Objektive verkürzen die Aufnahmezeit für einen Kometen fünfter Größe auf etwa 8 Minuten. Nebenstehende Abb. 19 ist eine Aufnahme des Kometen Pons-Winnecke im Sternbild des Delphin, aufgenommen mit einem Tachar 1 : 2,3 und 75 mm Brennweite, Belichtungszeit 16 Minuten. Der dicht bei α Delphini stehende Komet war ungefähr sechster Größe.

Bei neuen Kometen weicht ihr wirklicher Ort von dem vorausberechneten oft erheblich ab, da eine genaue Bahn-

bestimmung infolge ungenügenden Beobachtungsmaterials nicht immer möglich ist. In solchen Fällen sucht man den Kometen vergebens mit dem Fernrohr. Eine hinreichende Helligkeit des Objektes vorausgesetzt, wird eine photographische Aufnahme es uns ermöglichen, den Kometen sicher auf der Platte einzufangen, wenn wir unsere Kamera auf den vorausberechneten Ort einstellen. Da das Gesichtsfeld der Kamera auch bei Anwendung eines Objektivs von großem Öffnungsverhältnis mindestens 30 Grad gut beherrscht, so werden wir den Kometen auf jeden Fall im Gesichtsfeld haben.

Bei einer solchen Aufnahme müssen wir uns eines Leitsternes bedienen, den wir im Teleskop, das die Kamera trägt, auf dem Faden halten. Da der Komet im Laufe von beispielsweise einer halben Stunde ein erhebliches Stück am Himmel weiter gewandert sein kann, ist diese Aufnahme natürlich nicht ganz scharf. Wir entwickeln also die Platte sofort, fixieren mit Schnellfixiersalz und suchen alsdann mit der Lupe nach dem Kometen. Jetzt erfahren wir, wo er wirklich steht, und können unser Instrument für eine neue Aufnahme einstellen, diesmal mit dem Kometen selbst als Leitobjekt, wie es bei Kometenaufnahmen immer der Fall sein soll.

Bei der geringen scheinbaren Größe der Kometen im allgemeinen und ihrer großen Lichtschwäche wäre es ernstlich zu erwägen, kurzbrennweitige Spiegel von besonders großem Öffnungsverhältnis für Aufnahmezwecke zu verwenden, evtl. mit Hilfe einer Shapleylinse (siehe S. 27).

Kometenspektren erfordern natürlich eine wesentlich längere Belichtungszeit als sie zur Aufnahme des Kometen selbst notwendig ist, und man wird sich nur bei sehr hellen Kometen mit Aussicht auf einigen Erfolg an die Sache heranwagen können. Um die Expositionszeit nicht unnötig zu verlängern, wähle man ein Prisma, das in Verbindung mit dem benutzten Objektiv für die Wasserstoffserie von H_β bis H_ζ eine Länge von etwa 1 mm hat. Der Komet muß natürlich sternartig sein, sonst fließen die Spektralbilder ineinander. Eine Auf-

nahme des Kometen Reid von Wolf vom 21. Juni 1927 mit einem alten 58 mm Hermagis-Objektiv und vorgesetztem Prisma zeigte ein Sepktrum des Kometen mit den Bändern um 388, 405, 430, 468 $\mu\mu$. Dieser Erfolg mit einfachen Mitteln ist gewiß eine Anregung, Ähnliches zu versuchen.

STERNSCHNUPPEN

Der Vollständigkeit halber muß auch dieses noch wenig beackerte Gebiet erwähnt werden. Es ist wenig Aussicht vorhanden, auch mit sehr lichtstarken Objektiven hier viel zu erreichen. Der Grund liegt darin, daß auch ein helles Meteor, das in Bruchteilen einer Sekunde über viele Grade am Himmel dahineilt, wegen der raschen Bewegung seines optischen Bildes die einzelnen getroffenen Plattenteile nur sehr kurz belichtet. Lichtstarke Objektive von langer Brennweite müssen hier versagen, und das Problem ist nur zu lösen durch Verwendung von Objektiven kurzer Brennweite, weil durch Verkürzung der Brennweite die Belichtung der einzelnen Plattenstelle sich vergrößert. Theoretisch ist die Belichtungszeit einer Plattenstelle, über die das Meteorbild hinweg eilt, unabhängig von der Brennweite; denn es wächst zwar die lineare Geschwindigkeit des Bildes auf der Platte mit zunehmender Brennweite, gleichzeitig nimmt aber auch die Größe des Bildes zu. Es erscheint indes zweifelhaft, ob die beiden Fälle praktisch auf der photographischen Platte denselben Effekt erzeugen. Ist nämlich der Durchmesser des Bildes infolge der Streuung im trüben Medium der photographischen Platte und wegen der nicht ganz vollkommenen Strahlenvereinigung nicht einfach gleich dem Produkt aus Brennweite und scheinbarer Größe des Objekts, sondern um einen konstanten Betrag größer, so wächst die spezifische Belichtungszeit mit abnehmender Brennweite*).

*) Nach Feststellungen von Prof. Olivier vom Flower Observatory in Pennsylvania scheint es, als ob bei gleichem Öffnungsverhältnis die Objektive von großer absoluter Öffnung überlegen sind.

Es wäre also hier unter Umständen mit Kondensor-Linsen sehr kurzer Brennweite etwas zu erreichen, denn bei abnehmender Brennweite werden auch die chromatischen Fehler klein. Die Billigkeit einer solchen Optik ermöglicht es überdies, mehrere Aufnahmevorrichtungen mit verschieden gerichteten Achsen zu kombinieren und den Nachteil des sehr kleinen Gesichtsfelds einer einzigen Linse auf diese Weise etwas auszugleichen. Daß man mit einer Kondensor-Linse relativ gute Aufnahmen herstellen kann, jedenfalls bessere als man erwarten sollte, zeigt die Aufnahme auf Tafel 12 zum Kapitel „Himmelsphotographie" von Graff, Astronomisches Handbuch, 2. Auflage.

Die astrotechnische Seite des Problems dürfte bei der Wichtigkeit der zu lösenden Aufgaben einer ernsthaften Bearbeitung wert sein.

FIXSTERNE

Mit Hilfe einer photographischen Aufnahme des Fixsternhimmels lassen sich zwei Aufgaben lösen: Helligkeitsbestimmung und Ortsbestimmung. Obwohl theoretisch die Beugungsscheiben der Fixsterne in der Brennebene des abbildenden Objektivs alle gleich groß sind, ist dies bei den durch diese Beugungsbilder hervorgerufenen Schwärzungen auf der photographischen Platte nicht der Fall. Der Durchmesser der Schwärzungen nimmt in einer fast linearen Beziehung mit der Größenklasse des Sternes ab, d. h. mit der Helligkeit zu. Diese Eigenschaft der photographischen Aufnahme kommt der Photometrie zustatten, denn auf sie gründet sich die Messung der photographischen Helligkeiten der Fixsterne nach der sog. Durchmessermethode. Über die Ursache der Schwärzungsverbreiterung gehen die Ansichten auseinander. Die Zahl der mitwirkenden Faktoren ist jedenfalls ziemlich groß.

Zunächst wird der Korrektionszustand des Objektivs einen Einfluß auf den Durchmesser der Schwärzungsscheiben haben. Bedenkt man, daß bei Fixsternaufnahmen sehr lange Belich-

tungszeiten in Frage kommen, so dürften auch Beugungserscheinungen, verursacht durch feinste Pünktchen oder Bläschen im Glase der Linsen oder Staub auf ihnen, die Brennpunktsbilder mit einem Halo umgeben. Eine Hauptursache für die Scheibenvergrößerung ist die Lichtzerstreuung in der Plattenemulsion selbst. Nach Rosenberg wirkt auch eine tatsächlich vorhandene Flächenhelligkeit in der nächsten Umgebung der Gestirne (Erhellung der irdischen Atmosphäre durch Zerstreuung des Sternlichtes) an der Vergrößerung des Scheibendurchmessers mit, ferner die Szintillation. Die Tatsache, daß auch Laboratoriumsaufnahmen künstlicher Sterne den gleichen Effekt zeigen, nämlich wachsende Schwärzungsdurchmesser bei zunehmender Belichtung, zeigt, daß es nicht leicht ist, die Wirkung der verschiedenen Einflüsse voneinander zu trennen. Dies hindert aber keineswegs mit Hilfe auserwählter Fundamentalsterne auf einer photographischen Himmelsaufnahme das für die betreffende Platte geltende Gesetz abzuleiten, welches die Beziehung zwischen Sterngröße und Schwärzungsmesser angibt. Schon der Umstand, daß die photographische Extinktion der Atmosphäre auch bei klar erscheinenden Himmel sehr verschieden sein kann, ferner der unzweifelhafte Einfluß des Entwicklungsverfahrens verbieten es, das für eine Platte gefundene Gesetz auf eine andere anzuwenden, auch wenn Expositionszeit, Plattensorte und Zenitabstand der Plattenmitte gleich waren. Ein Beispiel für eine solche Bestimmung photographischer Sterngrößen, in diesem Falle auf Grund einer mit einer einfachen plankonvexen, chromatisch nicht korrigierten Linse hergestellten Himmelsaufnahme ist von Hoffmeister*) gegeben worden. Das Beispiel ist sehr lehrreich, weil es zeigt, daß für derartige photometrische Untersuchungen eine etwas unscharfe Abbildung mit der dadurch bedingten größeren Ausdehnung des Schwärzungsscheibchens von Vorteil ist. Die Messung der Schwärzungsdurchmesser wird dadurch erleichtert und auch genauer. Bei dem Hoff-

*) Die Sterne, 1926, Heft 2/3.

meisterschen Beispiel beträgt die Zunahme des Durchmessers bei Abnahme der Größenklasse 0,274 mm pro Größenklasse. Zum Vergleich ist eine Aufnahme derselben Himmelsgegend (Leier) hergestellt mit einem Kinoaufnahme-Anastigmaten von 75 mm Brennweite, einem Tachar, nach der gleichen Methode ausgemessen worden. Bei der kurzen Brennweite (die von Hoffmeister vermessene Aufnahme wurde mit einer Linse von 350 mm Brennweite hergestellt) und den gestochen

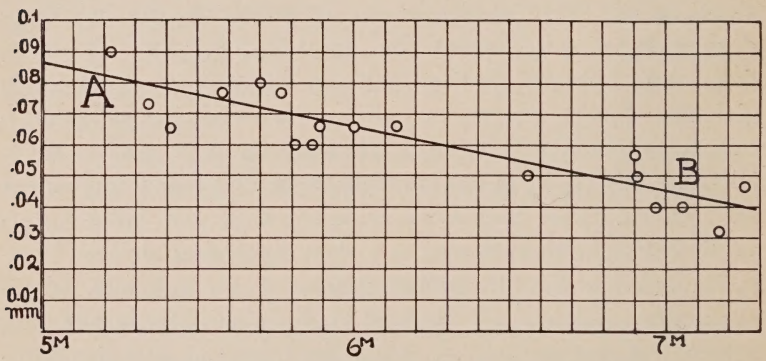


Abb. 20.

scharfen Sternbildern ist die Durchmesserbestimmung wesentlich schwerer und nur unter dem Mikroskop möglich; sie ergibt eine Durchmesserabnahme von 0,021 mm pro Größenklasse.

Trägt man auf Millimeterpapier die Schwärzungsdurchmesser als Ordinaten die Helligkeiten in Größenklassen nach dem Draper-Katalog als Abszissen ein, so erhält man eine Schar von Punkten (Abb. 20), die trotz ihrer Streuung die gesetzmäßige Beziehung zwischen Schwärzungsdurchmesser und Größenklassen erkennen lassen. Es läßt sich, wie man aus der Figur ablesen kann, eine Linie AB ziehen, die ungefähr der mittleren Richtung der Punktschar entspricht. Diese Linie stellt die lineare Beziehung zwischen Schwärzungsdurchmesser und Helligkeit für die betreffende Aufnahme (1) dar.

Sie lautet demnach:

$$D_1 = 0{,}087 - 0{,}021\,(m - 5{,}0) \ldots . \qquad (a)$$

während die von Hoffmeister vermessene Aufnahme (2) die Beziehung ergab:

$$D_2 = 1{,}14 - 0{,}274\,(m - 5{,}0) \ldots . \qquad (b)$$

Multipliziert man diese Gleichung (*a*) mit 13,06, so erhält man:

$$13{,}06\,D_1 = 1{,}136 - 0{,}274\,(m - 5{,}0) = D_2.$$

Beide Gesetze sind also einander ganz ähnlich. Der mittlere Fehler einer Bestimmung ergibt sich zu $\pm 0{,}18^{M}$ bzw. $\pm 0{,}27^{M}$. Die gestochen scharfe Abbildung des Anastigmaten ist hier also nicht von Vorteil.

Bei der Bestimmung der Sternhelligkeiten nach der Durchmessermethode kann ein Fehler auftreten, wenn einer der Sterne ein Doppelstern ist, der infolge der meist kurzen Brennweiten der Astro-Kamera auf der Platte nicht getrennt erscheint. Die gemessene Helligkeit ist alsdann die Gesamthelligkeit des Paares.

Das Ausmessen der Schwärzungsdurchmesser kann mit Hilfe einer aufgelegten Millimeterteilung auf Glas, die die direkte Ablesung von Zehntel-Millimetern gestattet, erfolgen, wobei man sich einer etwa zehnfach vergrößernden Lupe bedient.

Es besteht aber noch eine andere Möglichkeit, die zur photometrischen Verfolgung veränderlicher Sterne praktisch mit Erfolg gebraucht werden kann, nämlich die der Schwärzungsschätzung analog der Argelanderschen Stufenschätzungsmethode*). Mit Hilfe einer mäßig vergrößernden Linse betrachtet man die vor ein hell erleuchtetes weißes Blatt aufgestellte Aufnahme des Veränderlichen und seiner Umgebung. Man sieht schwarze Sterne, die man ebensogut miteinander vergleichen kann wie die hellen am Firmament. Genau wie bei

*) Hier ist der Anastigmat wieder vorzuziehen.

der Argelanderschen Methode schätzt man die Schwärzungsdifferenzen zwischen dem Veränderlichen und den Vergleichssternen nach Stufen. Nach diesem Verfahren konnte Prager den Lichtwechsel von RR-Lyrae verfolgen. Das Verfahren ist so einfach, daß es mit Rücksicht auf seine vorzüglichen Resultate nur warm empfohlen werden kann. Indem man auf ein und dieselbe Platte mehrere Aufnahmen von Sternen mit verschiedenen, nach einer Reihe ansteigenden Expositionszeiten macht, lassen sich photometrische Vergleichsskalen herstellen.

Ortsbestimmungen auf photographischen Platten kommen für den Liebhaberastronomen nur in Betracht bei der Bestimmung der Örter aufgenommener Kometen oder Planetoiden. In diesem Falle ist es vollkommen ausreichend, den Abstand des Objektes von zwei oder drei durch die zur Verfügung stehende Sternkarte zu identifizierenden Sternen mit Hilfe eines Glaslineals zu bestimmen. Man mißt natürlich auch den Abstand der Anschlußsterne sowohl auf der Platte wie auf der Sternkarte und findet auf diese Weise den anzuwendenden Umrechnungsfaktor, vergrößert oder verkleinert also die der Platte entnommenen Abstände bis zur Übereinstimmung mit der Sternkarte. Der Ort des Objektes ist alsdann leicht ermittelt. Berechnet man aus der Brennweite der Kamera den Wert eines Grades in Millimetern auf der Platte, so kann man bei einem einigermaßen verzeichnungsfreien Objektiv den Ort des Objektes direkt auf der Platte bestimmen. Notwendig sind dann nur zwei Anschlußsterne und eventuell die Richtung der täglichen Bewegung auf der Platte. Diese Ortsbestimmungen sind natürlich nur ganz roh, werden aber den Bedürfnissen des Liebhaberastronomen im allgemeinen genügen.

Szintillographie.

Das Problem der Szintillation der Fixsterne ist noch nicht völlig geklärt; gerade hier können photographische Aufnahmen wertvolles Material liefern. Erforderlich hierzu sind möglichst

langbrennweitige Instrumente. Man macht die Aufnahmen am besten direkt mit dem Fernrohr oder dem Spiegelteleskop. Die Aufnahme erfolgt bei feststehendem Rohr, man läßt also den Stern über die Platte laufen. Die Schwärzungsspur des szintillierenden Sternes hat ein eigenartiges Aussehen (Abb. 21). Zum Teil weicht der Stern infolge der Refraktionsänderungen von der idealen Bewegungslinie in unstetiger Weise ab, zum Teil

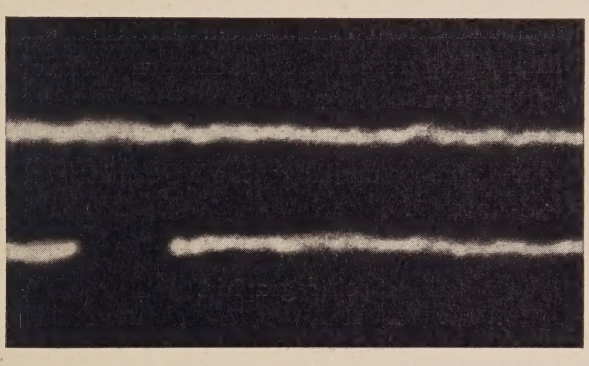


Abb. 21. Szintillogramm, Sirius beim Meridiandurchgang. Temp. —15° C

verursachen Intensitätsschwankungen Schwärzungsänderungen. Mit Rücksicht auf die unzweifelhaften Schwankungen des Sternbildes um die ideale Lage, die nach allen Richtungen erfolgen, läßt sich auf einer solchen Aufnahme nicht ohne weiteres entscheiden, ob stärkere Schwärzungen Intensitätsschwankungen oder Bewegungsverzögerungen zuzuschreiben sind. Das Auge erkennt die Intensitätsschwankungen, wenn man entweder den Stern betrachtend das Fernrohr ein wenig schwingen läßt, wobei der Stern perlschnurartige Lichtstriche zieht, oder man betrachtet das extrafokale Bild. Die Ortsänderungen des Sternes betragen im Maximum auf der abgebildeten Aufnahme etwa 10″. Um photographisch zu entscheiden, ob Intensitätsschwankungen oder Bewegungsverzögerungen vorliegen, muß man extrafokale Aufnahmen

des Sternes machen, bei denen der Durchmesser des extrafokalen Bildes ein Vielfaches der maximalen Ortsveränderung des Sternes ist. Der Einfluß derselben auf die Belichtung wird alsdann soweit herabgedrückt, daß die Platte kaum noch darauf reagiert. Die Betrachtung derartiger extrafokaler Sternscheiben im Okular, die infolge ihrer Größe keinerlei Ortsänderung des Sternes mehr zur Geltung kommen lassen, zeigen deutlich sichtbare flackernde Schatten, die manchmal die Gestalt paralleler Streifen annehmen. Mit Spiegelteleskopen großer Öffnung läßt sich dieses Phänomen vielleicht photographisch festhalten.

Die Szintillographie ist noch ein wenig bearbeitetes Gebiet und eine sehr dankbare und angenehme Beschäftigung für den Liebhaberastronomen.

Spektrographie.

Während die visuelle Beobachtung der Spektren auch der hellsten Sterne selbst bei Instrumenten von über vier Zoll Öffnung wenig bietet, kann man photographisch mit einem Objektiv von etwa 35 mm Öffnung in einer halben Stunde Expositionszeit die Spektren aller Sterne bis zur 5. Größe auf einem Himmelsareal von 10 Grad Durchmesser mit überraschend scharfen Linien erhalten. Die Haupttypen der Sternspektren sind auf solch einer Aufnahme gut zu erkennen, die Wasserstoffserie der A-Sterne kommt in aller Deutlichkeit zum Vorschein. Diese qualitative und quantitative Überlegenheit eines vom Standpunkt visueller Beobachtung kaum in Betracht kommenden Objektivdurchmessers läßt eigentlich keinen Zweifel mehr darüber, welcher Methode sich auch der Liebhaberastronom für das Studium der Stern-Spektren zu bedienen hat.

Die Deutung der Sternspektren auf Grund der neueren Anschauungen über das Wesen der Strahlung von hoher Temperatur kann hier nicht erörtert werden. Da die Kenntnis dieser

Gesetze aber unerläßlich ist, sei auf die Literatur*) hingewiesen. Es sei nur einiges bemerkt, was astrophotographisch von Wichtigkeit ist.

Die Energieverteilung im Spektrum ist eine Funktion der Temperatur. Das Maximum der Energie verschiebt sich mit steigender Temperatur nach dem violetten Ende des Spektrums. Die Schwärzungsverteilung auf der Aufnahme des Spektrums hat hiermit nur wenig zu tun; denn erstens hat die Platte keine homogene, sondern eine spezifische Empfindlichkeit für einzelne Wellenlängen, zweitens siebt die Atmosphäre das Spektrum, drittens ändert die verwendete Optik die Energieverteilung durch stärkere Absorption bestimmter Wellenlängen. Trotzdem zeigt sich bei Verwendung orthochromatischer Platten, die auch gelbempfindlich sind (Agfa Chromo-Isorapid, Perutz Perorto) eine charakteristische Verschiebung des Schwärzungsmaximums vom gelben nach dem violetten Ende bei steigender Temperatur der Sterne, also in der Reihenfolge *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M* der Spektralklassen. Aber weder die der maximalen Schwärzung entsprechende Wellenlänge, noch die Art der Verschiebung sind mit jener des Energiemaximums identisch. Es kann aus gleichartig hergestellten Aufnahmen die gesetzmäßige Beziehung abgeleitet werden, die eine Interpretation eines Spektrogramms gestattet. Dies geht so weit, daß man auf Spektren, die wegen ihrer Kleinheit die Linien nicht mehr genau erkennen lassen, die Spektralklasse, durch bloße, mit dem Auge ausführbare Schätzung der Lage des Schwärzungsmaximums roh bestimmen kann. Dies wird dadurch erleichtert, daß die genannten orthochromatischen Platten ein starkes Empfindlichkeitsminimum in Grün be-

*) March, Theorie der Strahlung und der Quanten, 2. Aufl., Lpz., Barth (mathematisch sehr klare Darstellung).

Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik 11. Auflage, Bd. V, 2 Physik des Kosmos (ausführliche Behandlung der astrophysikalischen Seite des Problems).

Graff, Astrophysik, Bd. 1; Spektralanalyse (speziell astrophysikalisch), Lpz., Teubner.

sitzen, das im Negativ das Spektrum scharf in zwei Teile teilt (gelb—blau, violett). Die Lage des Schwärzungsmaximums und das Intensitätsverhältnis der stärksten Schwärzungen rechts und links vom Minimum in Grün geben sehr gute Anhalte. (Siehe Abb. 26, S. 95.)

Bei der Aufnahme eines Sternspektrums unter Benutzung eines vor dem Objektiv angebrachten Prismas handelt es sich um die Photographie eines Objektes, dessen scheinbare Größe (in Winkelmaß ausgedrückt) innerhalb gewisser Grenzen in unserem Belieben steht. Eine der empfindlichsten Störungen astronomischer Beobachtungen und Aufnahmen, die Luftunruhe, läßt sich zahlenmäßig als Winkelgröße ausdrücken, nämlich als den in Bogensekunden gemessenen Abstand zweier Sterne, den diese eben noch haben dürfen, um visuell bzw. photographisch getrennt zu erscheinen. Visuell ist dieser Winkelwert der Luftunruhe nicht ganz leicht festzustellen, da auch bei schlechter Luft ab und zu ein Augenblick besserer Sicht auftritt. Aber photographisch kann man diesen Wert direkt durch eine Exposition von mindestens einer Minute auf der Platte bestimmen. Das visuelle Verfahren führt auch zum Erfolg, wenn wir als Winkelwert der Luftunruhe die in Bogensekunden ausgedrückten, kleinsten, dauernd trennbaren Abstände bzw. sichtbaren Objekte als Maß nehmen.

Die Möglichkeit, die scheinbare Größe der Spektren durch geeignete Wahl der Dispersion des Objektivprismas nach unserem Belieben zu bemessen, während der Winkelwert der Luftunruhe für mittelmäßige Luft ein, wie wir sehen werden, festliegender Wert ist, führt zu der Schlußfolgerung, daß es bei diesem Zweig der Astrophotographie möglich ist, den Einfluß der Luftunruhe auszuschalten. Wir können es als mittelmäßige Luft bezeichnen, wenn nur die gröbsten Streifen Jupiters in einem Sechszöller dauernd erkennbar sind, und man kann den Winkelwert der Luftunruhe in diesem Falle zu etwa fünf Bogensekunden veranschlagen. 10″ Luftunruhe sind bei uns keine Seltenheit.

Wenn wir die Dispersion des Objektivprismas und die Brennweite der Kamera bzw. des Spiegelteleskops so bemessen, daß fünf bzw. zehn Bogensekunden auf der photographischen Platte nicht mehr abgebildet werden, und dazu nicht einmal eine Unschärfe hervorrufen, ist der Einfluß der Luftunruhe ausgeschaltet. Wir müssen also dafür sorgen, daß die lineare Ausdehnung eines Objekts von fünf (zehn) Bogensekunden scheinbarer Größe in der Brennebene des Objektivs ein Bruchteil der Plattenschärfe ist. Dies wäre das Ideal, das sich technisch durchaus verwirklichen läßt.

Aus diesen elementaren Betrachtungen ergibt sich, daß es so gut wie unmöglich ist, mit langbrennweitigen Instrumenten und Objektivprismen von kleinem brechendem Winkel, also geringer Dispersion brauchbare Spektren bei längerer Exposition zu erzielen. Die Länge des Spektrums, die in diesem Falle trotz des schwachen Prismas groß sein kann, täuscht eine Definitionsmöglichkeit vor, die durch das große Verhältnis von Luftunruhe zum Spektrum illusorisch wird. Ein kurzbrennweitiges Instrument von weit geringerer Länge des Spektrums wird, wie praktische Ergebnisse beweisen, einem solchen Spektrographen an Definition schon bei Expositionszeiten von wenigen Minuten weit überlegen sein. Da kurzbrennweitige Instrumente auch kleine Objektivdurchmesser haben, wird die Expositionszeit natürlich verlängert, aber die Möglichkeit, den Spektrographen kurz zu bauen, läßt uns den für die Schärfe des Spektrums recht verhängnisvollen Einfluß mechanischer Veränderungen des Instruments während der Aufnahmen auf ein unschädliches Minimum herabdrücken, und die Ausschaltung des Einflusses der Luftunruhe gestattet sehr lange Expositionszeiten, die die geringe Öffnung wenigstens teilweise kompensieren.

Um erfolgreich arbeiten zu können, muß man folgendes beachten:

1. Die Brennweite soll zur Abschwächung oder Ausschaltung des Einflusses der Luftunruhe 600 mm nicht viel über-

schreiten. Bei 200 mm Brennweite ist eine Luftunruhe von 10″ wirkungslos, da 200 · sin 10″ etwa ein Drittel der Plattenschärfe ist.

2. Die Dispersion des Prismas soll nicht größer gewählt werden als nötig ist, um die gewünschte Liniendichte auf einer hochempfindlichen Platte zu bekommen. Ein K-Spektrum, das 250 Linien zeigen soll, muß also 15 bis 16 mm lang sein, wenn wir annehmen, daß die Platte 15 bis 17 Linien auf dem Millimeter abzubilden vermag, was allerdings an der Grenze liegt. Ganz allgemein kann man als Faustformel für die Länge l des Spektrums schreiben:

$$l = \frac{n}{15}\,\text{mm},$$

wo n die Linienzahl ist, die getrennt sichtbar sein soll. Danach ist das Objektivprisma zu bestimmen, dessen brechenden Winkel und Glasart man dann der Tabelle auf Seite 32 entnehmen kann, wobei man aber nicht obige Länge, sondern den halben Wert zu berücksichtigen hat.

Beispiel: Ein Objektiv von 200 mm Brennweite steht zur Verfügung. Die Spektren sollen wenigstens 30 Linien Schärfe besitzen; welches Prisma ist zu wählen?

Es ist $l = 2$ mm. Wir müssen die Hälfte nehmen $l = 1{,}0$ mm. Da die Tabelle für die Brennweite $f = 100$ mm berechnet ist, die Länge des Spektrums aber proportional der Brennweite ist, so müssen wir nach einem Prisma suchen, das bei $f = 200$ mm eine Länge von 1,0 mm, also bei $f = 100$ mm eine von 0,5 mm besitzt. Die Tabelle besagt, daß ein Prisma von 30 Grad aus Kronglas (Schott K 5) diese Bedingung erfüllt.

Schwerflintprismen mit stark brechendem Winkel absorbieren sehr viel aktinisches Licht. Man nehme, wenn möglich, Kronglas oder Leichtflintprismen.

Die Befestigung der Prismas vor dem Objektiv kann in folgender, einfach herzustellender Vorrichtung erfolgen, die es ermöglicht, die Prismen leicht auszuwechseln.

Ein kräftiger hölzerner Rahmen *a* (Abb. 22) ist innen mit Korkplatten *b* ausgefüttert. Das Prisma *c* wird hineingesetzt und durch Anziehen der Schrauben *d*, die natürlich ziemlich dick und am Ende abgestumpft sein müssen, festgehalten. Ein Verspannen des Prismas ist nicht zu befürchten. Der Einfluß eines solchen Druckes wird gern überschätzt. Der Rahmen

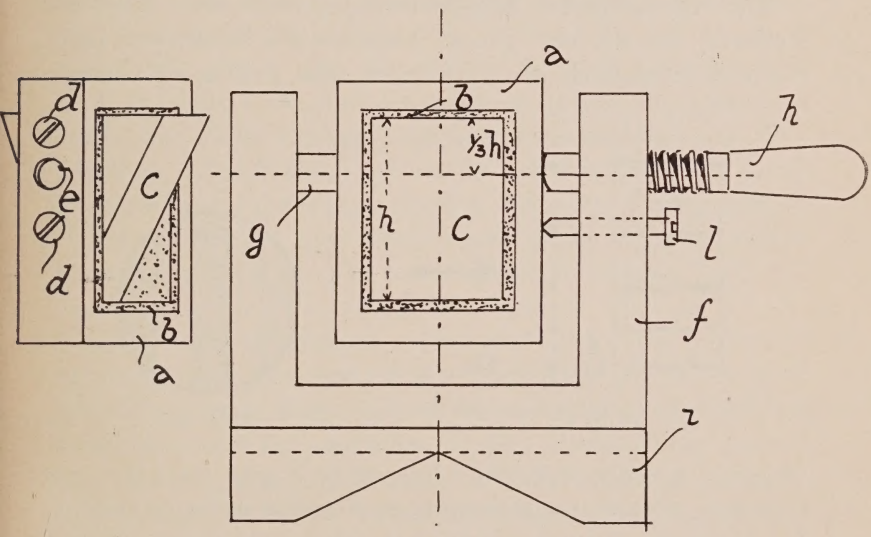


Abb. 22. Einfacher Prismenhalter.

besitzt, möglichst gegenüber dem Prismenschwerpunkt, zwei einander gegenüberliegende Vertiefungen *e*. Eine in jedem Eisenwarengeschäft erhältliche Holzzwinge *f* wird mit einem Zapfen *g* ausgestattet, der gemeinschaftlich mit der hölzernen Spannschraube *k* den Prismenrahmen in seine Vertiefungen *e* eingreifend festhält. Die Zwinge *f* wird auf den Klotz *i* aufgeschraubt, auf welchen die Kamera zu stehen kommt. Der Klotz hat unten einen stumpfwinkligen Ausschnitt, so daß er sicher auf jedes Rohr durch Schellen der Bänder befestigt werden kann. Eine gespitzte Schraube *l* in einem Schenkel des hölzernen Lagers dient dazu, das Prisma im richtigen

Winkel festzuhalten. Dieser läßt sich nach dem Winkel φ (siehe Tabelle S. 32) einstellen, der sich bei allen in Betracht kommenden brechenden Winkeln und Glassorten nur von etwa $-1{,}5$ bis -11 Grad ändert. Die Winkeländerungen sind recht gering, die Rahmenbreite genügt also, um der Stiftschraube l auf jeden Fall eine Eingriffstelle zu bieten.

Die Aufnahme der Spektren erfolgt nach der Schraffiermethode, für die ein (genau) parallaktisch montiertes Leitfernrohr unerläßlich ist. Dabei wird das Prisma so vor das

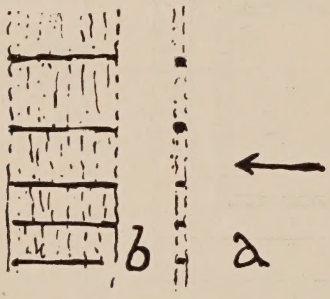


Abb. 23.

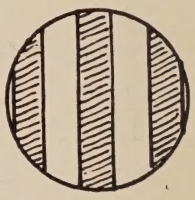


Abb. 24.

Objektiv gestellt, daß seine brechende Kante parallel zur täglichen, scheinbaren Bewegung der Gestirne zu liegen kommt. Das Spektrum steht also senkrecht dazu (Abb. 23); während das fadenförmige Spektrum keine Linien erkennen läßt, werden diese sofort photographisch sichtbar, wenn das fadenförmige Spektrum a (Abb. 23) infolge der täglichen Bewegung ein Stück über die Platte läuft (b). In fast allen Fällen wird solch ein einmaliger Übergang über die Platte keine ausreichende Schwärzung hervorrufen, man muß daher den Übergang wiederholen. Zu diesem Zwecke bringt man sich im Gesichtsfelde des Okulars des Leitfernrohrs eine Glasplatte an, auf der sich schmale Streifen von Transparentpapier befinden (Abb. 24). Da eine Breite des Spektrums von 0,1 bis 0,2 mm ausreicht, so müssen diese Transparentpapierstreifen eine Breite $b = 0{,}1\ (0{,}2)\ \frac{F}{f}$ besitzen, wo F die Brennweite des Leitfernrohrs,

f jene der Kamera ist. Nachdem man den Spektrographen auf die aufzunehmende Himmelsgegend gerichtet hat, sucht man sich im Fernrohr einen passenden Leitstern, was ohne Änderung der Richtung natürlich nicht möglich ist. Aber es wird sich dabei um höchstens 2 bis 3 Grad handeln, die die Kamera vom ursprünglich beabsichtigten Zielpunkt abgelenkt wird. Diesen Leitstern läßt man nun während der Aufnahme hinter einen der Transparentstreifen hin und her pendeln. Da der Stern auch noch hinter dem Streifen, wenn auch abgeschwächt, sichtbar bleibt, kann man ihn immer verfolgen und rechtzeitig durch eine kleine Drehung der Stundenfeinbewegung zurückschieben. Eine Feldbeleuchtung ist nicht erforderlich, da die Transparentstreifen durch die von ihnen verursachte Schwächung des Sternes seinen Durchgang genau erkennen lassen. Die Mehrzahl der Streifen hat den Zweck, mehrere dicht beieinanderliegende Spektren aufzunehmen.

Dies wird erforderlich, wenn auf dem aufgenommenen Himmelsareal relativ helle Sterne vorhanden sind, deren Spektren bei einer für die Aufnahme der schwächeren erforderlichen Belichtung bereits „zufließen", also überbelichtet werden. Man nimmt dann mit kürzerer Belichtungszeit diese hellen Spektren, entsprechend verschoben, besonders auf.

Die spezifische Belichtung I_s der Platte, also die Lichtmenge pro Flächeneinheit ist bei der Spektrographie, wie leicht zu erkennen, umgekehrt proportional der Länge des Spektrums und der Aufnahmebreite b (Schraffierverschiebung) und direkt proportional der Intensität des Sternes, der voll ausgenützten Objektivöffnung und der Anzahl von Übergängen bzw. der Belichtungszeit, die ihr proportional ist. Es ist also

$$I_s = a \cdot \frac{O \cdot t}{L \cdot b} \cdot 2{,}51^{-m}.$$

Als Länge L des Spektrums nimmt man am besten den Abstand der Linien H_β und H_ζ, den man auf den Spektren der A-Sterne sehr gut messen kann. Die ausgenützte Objektivöffnung ist nicht immer gleich der vollen und am fertigmon

tierten Instrument durch Messung der von der Austrittsfläche der Prismas bedeckten Objektivfläche zu bestimmen. Der Faktor a ist vom Luftzustande abhängig und kann je nach der Lage des Beobachtungsortes und der Witterung verschiedene Werte annehmen.

Die Leistung eines Spektrographen läßt sich beurteilen an der Belichtungszeit t, die erforderlich ist, um noch brauchbare Spektren eines Sternes m^{ter} Größe zu erhalten. Setzen wir die Schwärzung gleich der spezifischen Belichtung I_s multipliziert mit einem Plattenfaktor, so haben wir

$$S_{m,t} = a \cdot p \cdot \frac{O \cdot t}{L \cdot b} 2{,}51^{-m}.$$

$L \cdot b$ ist nichts anderes als die Fläche F des Spektrums; wir können obige Gleichung auch in folgender Form schreiben

$$\frac{S_{m,t}}{p} = a \cdot \frac{O \cdot t}{F} 2{,}51^{-m}.$$

Für Agfa-Chromo-Isorapid-Platten schwankt der Wert von $\log \frac{S_{m,t}}{p}$ je nach der Beschaffenheit der Optik und der Durchlässigkeit der Atmosphäre, die fern der Großstadt außerordentlich viel größer ist, zwischen 3,54 und 4,82. Hierin ist also a bereits enthalten. Daraus ergibt sich die einfache logarithmische Beziehung zwischen erforderlicher Belichtungszeit und Größenklassen für einen Spektrographen gegebener wirksamer Öffnung O und gegebener Fläche F des Spektrums von H_β bis H_ζ, wenn wir für $\log \frac{S_{m,t}}{p}$ den mittleren Wert 4,20 annehmen:

$$\log t = 4{,}2 + 0{,}4\,m - \log\left(\frac{O}{F}\right).$$

Ein Spektrograph von 10 qcm wirksamer Öffnung und einer Spektrumfläche von 0,2 × 0,01 cm braucht also, um noch gute Spektren eines Sternes beispielsweise 5^{ter} Größe zu liefern, eine Belichtungszeit $\log t = 4{,}2 + 2{,}0 - \log(5000) = 2{,}50103$, also $t = 317$ Sekunden.

Da die obengenannten Platten auch gelb- und etwas grünempfindlich sind, kann man bei den Spektraltypen *A*—*G* für *m* die visuelle Sterngröße einsetzen. Beim Typus *K* oder *M* wird die Belichtung länger sein müssen.

Zum Ausmessen der Spektren zwecks Bestimmung von Wellenlängen muß man sich Dispersionskurven aus Aufnahmen von *A*-Sternen ableiten, deren ausgeprägte Wasserstoffserie dies gut ermöglicht. Die Dispersionskurve gibt die Beziehung zwischen der Wellenlänge einer Linie und ihrer Lage im Spektrum wieder. Als Nullpunkt wählt man am besten die erste auf der Aufnahme sichtbare Wasserstofflinie H_β und mißt von ihr aus die Abstände der anderen Linien in Millimetern. Nebenstehende Tabelle gibt die Wellenlänge der Wasserstoff- (Balmer-) Serie an.

Tabelle.

Wellenlänge der Balmer-Serie in $\mu\mu$.

Linie	Wellenlänge
H_α	656,5
H_β	486,2
H_γ	434,2
H_δ	410,3
H_ε	397,1
H_ζ	389,0
H_η	383,6
H_ϑ	379,9
H_ι	377,1
$H_\varkappa$	375,1

Bei Spektrogrammen mit Spiegelteleskopen oder Refraktoren kommt man wegen des geringen Gesichtsfeldwinkels mit einer einzigen Dispersionskurve aus. Bei Aufnahmen mit einem photographischen Objektiv und einem Gesichtsfeld von 10 und mehr Grad ändert sich die Dispersionskurve mit dem Abstand von der Plattenmitte, und zwar symmetrisch zum Stundenkreis (Richtung der Spektren), aber unsymmetrisch in der dazu senkrechten Richtung. Je nach der Größe der Dispersionsänderung wird man drei oder vier Dispersionskurven für verschiedene Plattenzonen ausmessen und zeichnen. Abb. 25 zeigt die Dispersionskurve für ein Objektivprisma aus Flint von 8 Grad brechendem Winkel in Verbindung mit einem Spiegelteleskop von 1706 mm Brennweite.

Auf Spektrogrammen eines größeren Himmelsareals kann man bei Verwendung orthochromatischer Platten gelbrote und

rote Sterne auf den ersten Blick mit der Lupe erkennen. Infolge des Empfindlichkeitsminimums im Grün sind alle Spektren in zwei Schwärzungen geteilt, eine kurze, dem gelben, und eine längere, dem blauen und violetten Spektralgebiet entsprechende. Wenn man vom Spektraltypus *A* zum Typus *K* oder *M* fortschreitet, verschiebt sich das Schwär-

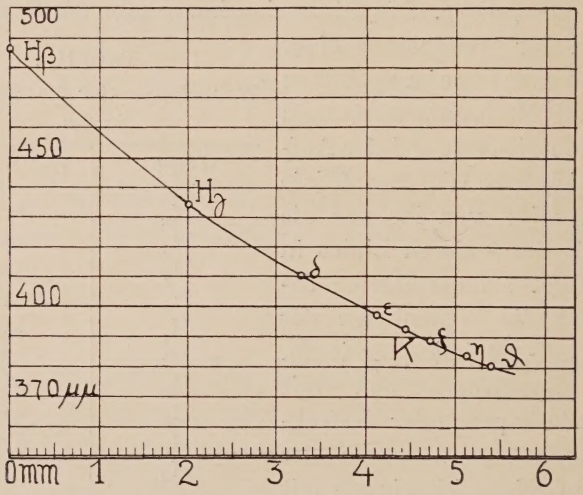


Abb. 25. Dispersionskurve eines Objektivprismas.

zungsmaximum deutlich nach dem „gelben" Felde, wie es die nach Aufnahmen hergestellten, etwas schematischen Spektren (Abb. 26) zeigen. Dies ist so ausgeprägt, daß die schwächsten Spektren auf einer Platte beim *A*-Typus überhaupt nur den Blau-Violett-Strich, bei *K*- und *M*-Typus nur den Schwärzungsfleck des gelben Gebietes zeigen. Da unter den roten Sternen interessante Veränderliche vermutet werden können, so lohnt sich eine spektrographische Jagd auf solche Objekte. Da es dabei nicht auf Linienspektrogramme, sondern Farbenspektrogramme vom Charakter obigen Schemas ankommt, genügt eine Länge von 0,3 mm und eine Breite von 0,1 mm des Spektrums. Mit

einem Objektiv von 50 mm Öffnung, 250 mm Brennweite, Kronglasprisma von etwa 12° brechendem Winkel (so daß D und F im Abstande von ca. 0,3 mm auf der Platte abgebildet werden), wird man bei ein- bis anderthalbstündiger Belichtungszeit wohl bis zur 10ten Größe hinunterkommen.

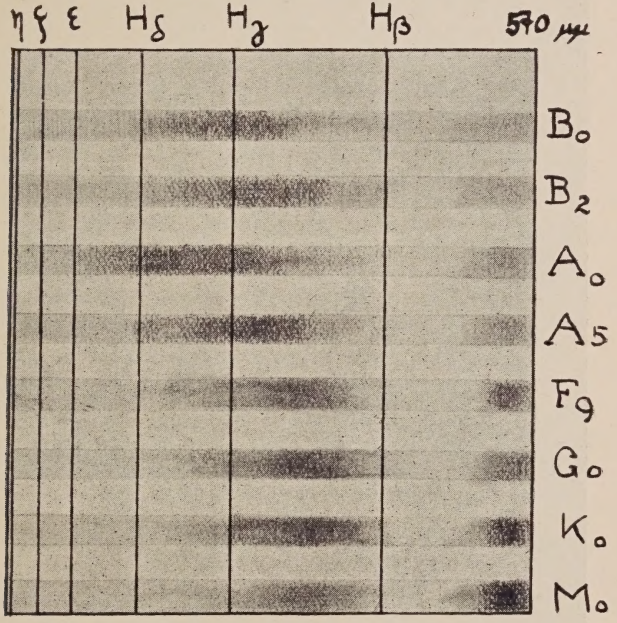


Abb. 26. Schwärzungscharakteristiken der Spektraltypen für Perutz-Perorto-Platten. (Auf der Abbildung ist der gelbe Teil des F_9-Spektrums zu intensiv herausgekommen.)

Es empfiehlt sich, für spektrographische Aufnahmen die Platten selbst zu sensibilisieren bzw. zu hypersensibilisieren. Solche Platten sind weit empfindlicher als die im Handel erhältlichen, bei denen aus Gründen der Haltbarkeit die Sensibilisierung nicht bis zum Maximum getrieben werden kann.

Spiegelteleskope mit einer Öffnung von 4 Zoll und darüber geben von den hellsten Sternen schon bei einmaligem Über-

gang über die Platte ein Spektrum, wenn die Länge, immer nach obiger Vereinbarung gerechnet, etwa ein Vierzigstel der Öffnung ist. Läßt man das Spektrum durch das ganze Gesichts-

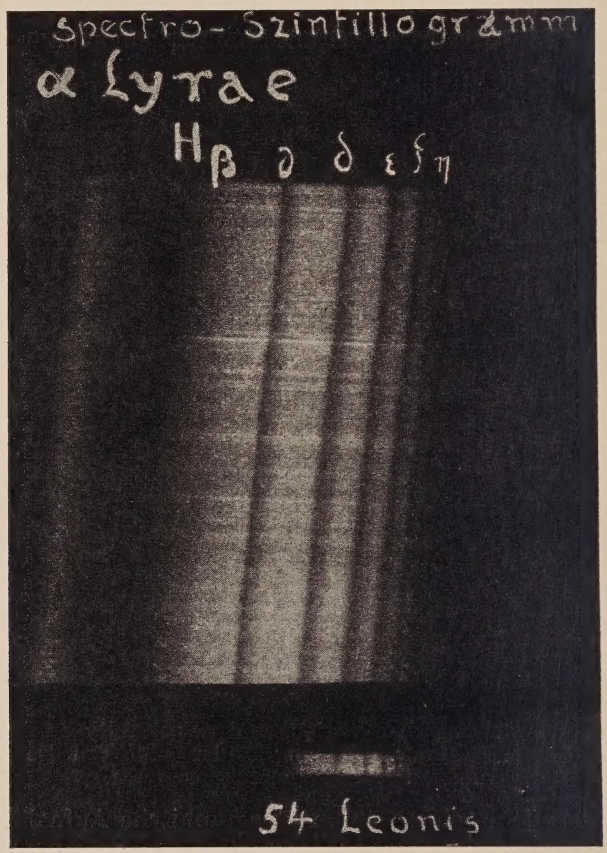


Abb. 27.

feld laufen, so erhält man ein Spektro-Szintillogramm des Sternes, also eine photographische Aufzeichnung der Helligkeitsänderungen im Spektrum infolge atmosphärischer Störungen. Auch hier wirken natürlich Verzögerungen und Beschleunigungen der scheinbaren Bewegung infolge von Refraktions-

differenzen mit, wobei auch Bodenerschütterungen ähnliche Effekte erzeugen. Dies ist bei der Interpretation wohl zu beachten. Nebenstehende Abb. 27 zeigt ein solches spektrales Szintillogramm von α Lyrae.

Die Messungen von Radialgeschwindigkeiten werden mit Objektivprismen nur in wenigen Ausnahmefällen möglich sein. So gelang es Beyer, aus der Aufspaltung der *K*-Linie bei β Aurigae die Differenz der Radialgeschwindigkeiten beider Komponenten (226 km/sec) zu messen*). Die Änderung der Wellenlänge ist proportional dem Verhältnis der Radialgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit. Selbst bei einer Radialgeschwindigkeit von 300 km in der Sekunde ändert sich also eine Welle nur um ein Tausendstel. Das sind winzige Verschiebungen auf den relativ kleinen Spektren, die man in Objektivprismen erhält. Überdies müssen die Verschiebungen gegenüber einer feststehenden Linie gemessen werden, falls man nicht wie im obigen Falle Differenzen beobachten kann. Eine derartige feststehende Linie kann man bei Aufnahmen mit dem Objektivprisma dadurch erhalten, daß ein Filter aus Didymglas vorgeschaltet wird**). Dieses Glas erzeugt ziemlich scharfe Absorptionslinien, darunter eine ganz scharfe bei der Wellenlänge 430 $\mu\mu$ und ein kräftiges, scharf begrenztes Band bei 570 $\mu\mu$. Man erhält also in allen auf der Platte befindlichen Spektren eine feste, die Lage einer ganz bestimmten Welle angebende Marke, mit deren Hilfe unter Benutzung der Dispersionskurve Linienverschiebungen gemessen werden können. Es ist bekannt, daß Differenzen in der Lage bestimmter Punkte zweier Bilder bei stereoskopischer Betrachtung noch erkannt werden können, deren Messung mit Hilfe von Maßstäben kaum noch möglich wäre. Beim Anfertigen zweckentsprechender Vergrößerungen (vgl. Kapitel Vergrößerungen) zweier

*) Für solche Aufnahmen kämen noch in Betracht: α Virginis, 334 km/sec; β Lyrae 259 km/sec; σ Persei 272 km/sec.

**) Ein vorzügliches Didymglas ist das Glas V 242 der Sendlinger Optischen Glaswerke, Berlin-Zehlendorf.

Spektren und beim Betrachten im Stereoskop müßte bei einem etwa vorhandenen Dopplereffekt die Didym-Linie aus der Ebene der anderen Linien heraustreten oder in sie versinken; sie erscheint nämlich jetzt relativ zu den übrigen Linien auf der einen Aufnahme gegenüber der anderen verschoben. Auf diesem Prinzip der Messung einer Verschiebung durch den von ihr verursachten Stereoeffekt beruht der Stereokomparator von Pulfrich. Es wäre der Mühe wert, mit einfachen Mitteln Versuche darüber anzustellen, was für Linienverschiebungen auf vergrößerten Spektren sich bei der stereoskopischen Betrachtung bemerkbar machen. Selbstverständlich müssen beide

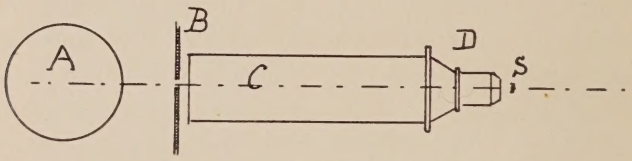


Abb. 28. Künstlicher Stern.

Spektren unter genau gleichen optisch-geometrischen Bedingungen aufgenommen sein.

DAS LABORATORIUM

Die in unseren Breitengraden leider sehr geringe Anzahl astronomisch brauchbarer Nächte legt es nahe, alle Versuche, sowie das Ausprobieren neuer Methoden, Vorrichtungen und Platten auf dem Wege des Laboratoriumsexperimentes auszuführen. Diese von Dr. W. Volkmann angeregte „Astronomie am Phantom" verhindert es, wertvolle Nachtstunden, die der Erledigung astronomischer Arbeiten gewidmet werden können, an Vorversuche zu verschwenden.

Das wichtigste Hilfsmittel, der künstliche Stern, wird nach Volkmann wie folgt hergestellt: In einem Blech oder schwarzen Papier *B* (Abb. 28) ist ein möglichst kreisrundes Loch *C* gebohrt. Hinter *B* steht eine elektrische Opallampe *A* (40 Watt). Ein Mikroskopobjektiv *D* oder Lupe bzw. Okular entwirft

ein verkleinertes Bild *S* des erleuchteten Loches *C*. Beträgt der Durchmesser von *C* 0,5 mm und ist die Entfernung *CD* ungefähr das Elffache der Brennweite des Mikroskopobjektivs, so hat das Lochbild *S*, der künstliche Stern, einen Durchmesser von 0,05 mm. Aus einer Entfernung von 1 m betrachtet, hat *S* 10 Bogensekunden Durchmesser. Da man meist einen Abstand von 3 bis 4 m zur Verfügung haben wird, vermindert sich der scheinbare Durchmesser von *S* auf 3,3 bzw. von 2,5 Bogensekunden. Für Objektive bis zu 30 mm Durchmesser kann er also als Stern gelten. Man hat die Möglichkeit, Doppelsterne verschiedener Distanzen und verschiedener Helligkeitsdifferenzen künstlich herzustellen und mit ihrer Hilfe das Verhalten von Platten und Objektiven zu prüfen. Hierbei können auch Beugungsgitter untersucht werden, um festzustellen, ob sie sich für beabsichtigte Sternaufnahmen eignen. Man benutzt zu diesen Versuchen kleinste Fernrohre von 15 bis 30 mm Öffnung. Da man im Laboratorium beliebig lange exponieren kann, ist es viel leichter, etwaige Fehler festzustellen, z. B. ob das Gitter photosymmetrisch ist, d. h. ob symmetrisch zum Zentralbild liegende Beugungsbilder wirklich gleich hell sind. Selbst Spektrogramme solcher künstlicher Sterne kann man aufnehmen, wenn man das bereits im Kapitel über Spektrographie erwähnte Didymglasfilter zwischen Lampe und Lochblende *B* stellt. Größere Löcher in der Blende *B* können künstliche Planetenscheiben darstellen, und da man hier mit größter Genauigkeit die wirklichen linearen und die scheinbaren Winkeldurchmesser bestimmen kann, läßt sich genau feststellen, welche Fehler der photographischen Aufnahme anhaften.

Um ein größeres Feld von künstlichen Sternen zu erhalten, dessen Aufnahme die Platte der Kamera deckt, kann man kleine polierte Stahlkugeln auf einem schwarzen Untergrund benutzen, die am besten von einer Punktlichtlampe beleuchtet werden. Die Helligkeit dieser künstlichen Sterne ist bei gleicher Entfernung der Lichtquelle proportional dem Quadrate

ihres Durchmessers. Mit Hilfe eines solchen künstlichen Sternenhimmels können wir die Zentrierung eines Objektives relativ zur Platte in wenigen Minuten aufs peinlichste prüfen und etwaigen Fehlern abhelfen, während sonst eine ganze Nacht an solch einer Aufnahme verschwendet werden müßte.

Mit Hilfe von Mesothorium-Leuchtsubstanz*) kann man die schwachen kosmischen Nebel vorzüglich imitieren und insbesondere Platten, die man selbst sensibilisiert und hypersensibilisiert hat, hinsichtlich ihres Verhaltens bei Dauerbelichtungen mit solch schwachen Objekten studieren.

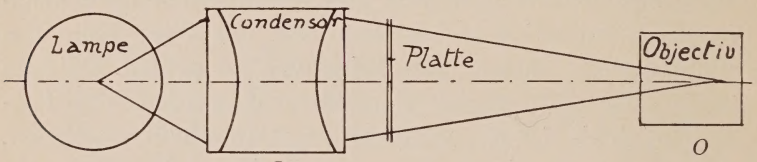


Abb. 29.

Auf keinen Fall soll der Liebhaberastronom versäumen, sich ein solches Laboratorium auch bescheidenster Art einzurichten.

Herstellung von Vergrößerungen

Bei der Herstellung von Vergrößerungen ist prinzipiell folgendes zu beachten:

Die Anwendung eines Kondensors *C* (Abb. 29) ist unerläßlich. Sein Durchmesser muß gleich der Diagonale der zu vergrößernden Aufnahme sein. Der Kondensor ist so aufzustellen, daß er ein Bild der mattierten Lampe in das zur Vergrößerung benutzte Objektiv *O* wirft. Dies Objektiv muß zur Herstellung von Vergrößerungen so gerichtet werden, daß das Licht in der umgekehrten Richtung durch das Objektiv geht, wie es bei normalen Aufnahmen der Fall ist. Zwischen Kondensor und Negativ kann man noch eine sehr feinkörnige Mattscheibe

*) Zu beziehen durch die Toran G. m. b. H. in Berlin SO 16, Cöpenicker Str. 83.

stellen, die aber vom Objektiv so weit entfernt sein muß, daß das Korn nicht abgebildet wird. Die ganze Vergrößerungsvorrichtung ist lichtdicht abzuschließen, damit kein Streulicht das Bromsilber- oder Gaslicht-Papier, welches das vergrößerte Bild aufnimmt, verschleiert. Zur Vergrößerung von Planetenbildern (etwa 10- bis 20fach) muß man natürlich ein kurzbrennweitiges Objektiv wählen; anderenfalls wird der Aufbau zu lang. Schlimmstenfalls genügt ein 4-linsiges orthoskopisches Okular von 20 bis 25 mm Brennweite. Den Kondensor stellt man sich aus zwei plankonvexen Linsen her, die mit den gewölbten Seiten nach innen zur Not in einem Papprohr untergebracht werden können.

NACHTRAG

Entwickler. In Nr. 5639 Bd. 235 der Astronomischen Nachrichten berichtet Prof. Dr. Neugebauer über Ergebnisse mit dem Ausgleichsentwickler von Windisch unter Angabe des Rezeptes. Dieser Entwickler gestattet es, völlig überbelichtete Aufnahmen zu entwickeln, ohne daß die Lichter ineinanderfließen. Unter Anwendung dieses Entwicklers wäre es also möglich, auf einer photographischen Aufnahme des Sirius, den Begleiter vom Hauptstern getrennt zu erhalten. Die erforderliche Brennweite wäre mindestens 3 bis 4 m.

Sensibilisierung. Ein ausführliches, allen praktischen Bedürfnissen dieser Technik Rechnung tragendes Handbuch ist: K. Jacobsohn, Das Arbeiten mit farbenempfindlichen Platten, Union Deutsche Verlagsgesellschaft.

Sonnenphotographie. In den Sitzungsberichten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung 1928 veröffentlicht Dr. H. Strebel sein neues Verfahren zur Aufnahme der Sonne, wobei durch ein nur Ultraviolett und äußerstes Rot durchlassendes Glas (Spezialglas der Sendlinger Optischen Glaswerke Zehlendorf-Berlin) photographiert wird. Die Aufnahmen zeigen Strukturen der Sonnenoberfläche, wie man sie in ähnlicher Weise nur bei den monochromatischen Aufnahmen mit dem Spektroheliographen sieht. Eine Imprägnierung der Platten mit fluoreszierenden Substanzen ist nicht unbedingt erforderlich.

Saturn. Die von Wright hergestellten Aufnahmen im Ultrarot und Ultraviolett zeigen sehr auffallende Unterschiede. Im Ultrarot ist die Kugel heller als der Ring, im Ultraviolett ist es umgekehrt. Diese Unterschiede zeigen sich in aller Deutlichkeit auch, wenn man eine Aufnahme auf Hauff-Proceß-Platte (blauviolett empfindlich) und eine auf Perutz-Silbereosin mit vorgeschaltetem 2 mm starken Gelbfilter aus Schottschem GG 6-Glas herstellt, was wesentlich einfacher ist.

Leitfaden der astronomischen Beobachtung

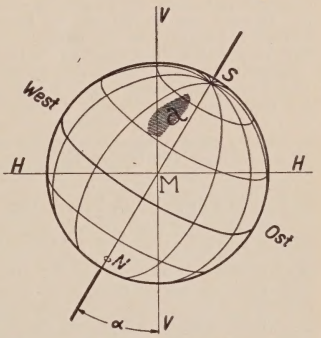
von

Ob.-Ing. H. J. Gramatzki

Mit Geleitwort von Dr. W. Volkmann, Oberstudienrat an der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Mit 35 Abbildungen und 3 Tafeln. M. 3.50. Geb. M. 4.50

„Enthält für einen Liebhaber der Astronomie alles, was er zur Anstellung von brauchbaren Himmelsbeobachtungen wissen muß. Namentlich wird gezeigt, daß man mit geringen Hilfsmitteln sehr viel erreichen kann. Es ist zu hoffen, daß sich das kleine Buch bald viele Freunde erwerben wird, denen die Beobachtung des gestirnten Himmels nach den Anleitungen des Buches große Freude bereiten wird." (Marine-Rundschau)

„Eine recht brauchbare, populäre Anleitung für die Ausführung einfacher astronomischer Beobachtungen mit dem bloßen Auge und mit kleineren Fernrohren (u. a. Sternschnuppen, Planetenoberflächen, Sternhelligkeiten und Sternfarben, letztere auch unter Benutzung von Hilfsapparaten)." (Physikal. Zeitschrift)



Zur Beobachtung einer Mars-Opposition

„Der Zweck des vorliegenden Leitfadens ist es, in die Methoden primitiver und fortgeschrittener Beobachtungskunst einzuführen und die Freude am Beobachten erstarken zu lassen. Nach einem kurzen Überblick über die mit bloßem Auge anzustellenden Beobachtungen geht der Verfasser auf die astronomischen Instrumente und ihre Handhabung ein. Er behandelt den Refraktor, das Spiegelteleskop, verschiedene Mikrometer und Photometer einfacher Bauart und bespricht, wie sie verwendet werden und was sie leisten. Abbildungen unterstützen das Verständnis des Dargebotenen. Das Buch wird vielen willkommen sein." (Das Weltall)

Von demselben Verfasser:

Hilfsbuch der astronomischen Photographie

Mit zahlreichen Abbildungen

Eine zusammenfassende Darstellung, die auch für den Fachastronomen brauchbar ist, fehlte bisher. Das Buch gibt einen Gesamtüberblick über die photographische Optik, die Technik der Aufnahme, das Plattenmaterial, die Sensibilisierungsverfahren usw. und dürfte dem ernsten Liebhaber wie dem Fachmann gleich willkommen sein für folgende Arbeitsgebiete: Sonnen-, Mond- und Planetenphotographie, Fixsternaufnahmen zur Selbstherstellung photographischer Sternkarten, Photometrie der Fixsterne, Kometen- und Nebelphotographie, Aufnahmen der Spektren von Fixsternen, Planeten und Kometen; Photographie der Dämmerungserscheinungen, daneben die Spezialgebiete der Photographie durch Filter u. a. m.

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Sternatlas

Nach der vierten Auflage von Littrows Atlas des gestirnten Himmels vollständig neu bearbeitet von

Dr. Friedrich Becker

Mit einer Einleitung von Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann
Quartformat. 24 Seiten Text u. Abbild. 16 Karten. Geb. M. 8.—

„Dieser Sternatlas enthält zunächst zwei Übersichtssternkarten des nördlichen und südlichen Himmels, dann auf zwölf Blättern alle mit bloßem Auge sichtbaren Sterne. Auch die bekannteren Sternhaufen und Nebelflecke sind auf den Karten eingezeichnet. Von der Umgebung einiger mehrfacher Sterne und von den Pleyaden, den Hyaden und der Krippe im Krebs sind besondere kleine Kärtchen im Atlas. Den Schluß macht eine Mondkarte . . . Um die Brauchbarkeit der Karten auf längere Zeit zu gewährleisten, sind die Örter der Sterne für das Äquinoktium von 1940° eingezeichnet. Die Figuren der Sternbilder sind mit Recht der größeren Klarheit und Übersichtlichkeit wegen weggelassen worden. Die zwanzig Großoktavseiten der Einleitung geben außer allgemeinen Erklärungen zur Benutzung des Atlanten eine Beschreibung der wichtigeren Sternbilder und eine Reihe von Hilfstafeln. Wir empfehlen diese Neubearbeitung des alten Littrowschen Sternatlas als zuverlässiges Hilfsmittel für alle Sternfreunde." (Natur und Technik)

Littrows Atlas des gestirnten Himmels

für Freunde der Astronomie

Taschenausgabe. Einleitung von Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann. Mit Fig. der Sternbilder. 3. Aufl. Format $11^1/_2 \times 17$ cm. Geb. M. 2.50

„Eine sehr willkommene Gabe für jeden Liebhaberastronomen. Nach einer klaren Einführung in die Grundbegriffe der Astronomie und Besprechung der mit bloßem Auge sichtbaren Vorgänge, Sterne und Sternbilder folgen die Karten . . . Sie enthalten alle Sterne bis zur 4. Größe, von den schwächeren nur eine Auswahl. Die Bezeichnungen der Sterne sind deutlich zu lesen, was für die Angabe von Sternbedeckungen wichtig ist. Die Beigabe der Mondkarte ist sehr dankenswert für die vielen Besitzer kleiner Instrumente. Das kleine Format erlaubt es, den Atlas auf Wanderungen in der Tasche bei sich zu führen." (Naturwiss. Wochenschrift)

Am Fernrohr

Eine Sammlung von Beobachtungsobjekten für Freunde des gestirnten Himmels von

Dr. Friedrich Becker

Gebunden M. 2.50

„Eine ganz ausgezeichnete Hilfe bietet der Verfasser in diesem mit großer Sorgfalt gearbeiteten Büchlein den Besitzern kleiner Fernrohre. Die Hauptabschnitte betreffen: 1. Helligkeiten, Farben und Spektra der Sterne 1. bis 3. Größe; 2. Doppel- und mehrfache Sterne; 3. Sternhaufen und Nebel; 4. veränderliche Sterne. Aus den großen Sternkatalogen und anderen schwer zugänglichen Quellen sind Beobachtungsobjekte für Feldstecher und Fernrohre bis zu etwa 8 Zentimeter Linsendurchmesser in übersichtlicher Weise zusammengestellt und mit zweckdienlichen Bemerkungen, Umgebungskarten, Tafeln der Vergleichssterne, Helligkeitskurven und kurzen geschichtlichen Angaben versehen. Nicht nur dem, der regelmäßig den Sternhimmel beobachtet, sondern auch dem, der das nur gelegentlich tut, kann das billige, reichhaltige Büchlein warm empfohlen werden." (Der Naturforscher)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Weltallkunde

Arbeitsweise und Ergebnisse der heutigen Astronomie

von Prof. Dr. J. Hopmann

Mit 76 Abbildungen. 35.—41. Tausend. 1929. Geb. M. 7.50

(Das Werk war bisher nur den Mitgliedern der Buchgemeinde Bonn zugänglich)

„Die Freunde der königl. Wissenschaft der Sternkunde haben allen Grund, dem Observator der Bonner Sternwarte für seine Gabe dankbar zu sein. Der Kundige ist überrascht, daß es gelingen konnte, auf verhältnismäßig so engem Raum und mit so geringen Voraussetzungen eine Darstellung der Arbeitsweisen und Ergebnisse der heutigen Himmelsforschung zu schaffen, die an Eindringlichkeit ihresgleichen sucht. In drei Abschnitten werden zunächst Arbeitsweise und Aufgaben des heutigen Astronomen geschildert, dann folgt eine Darstellung unserer heutigen Kenntnisse vom Sonnensystem, schließlich die Darlegung der heute den Hauptteil ausmachenden Arbeiten und Ergebnisse der Weltallforschung, also von Anordnung und Bau der Sternsonnen und leuchtenden Nebel ... Gerade in der sachlichen Nüchternheit der Darstellung, die darum doch nirgends trocken oder langweilig wird, liegt sicher ein Hauptwert dieser im besten Sinne volkstümlichen Weltallkunde ... Wir wünschen dem schönen und vom Verlage mit dem von der heutigen Forschung dargebotenen Bildermaterial ausgestatteten Buche weiteste Verbreitung."

(Stimmen der Zeit)

Unser Trabant wenige Tage vor Vollmond

„ . . . Eine gemeinverständlichere, den neuesten Stand der Wissenschaft wiedergebende Astronomie gibt es wohl nicht. Die Illustrationen und Zeichnungen erleichtern das Verständnis noch mehr, so daß jedermann in fesselndster Weise die Geheimnisse des Universums, soweit sie das Auge des Forschers enthüllt hat, enträtseln kann."

(Der Wächter)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Kleine Himmelskunde

Versuch einer gemeinfaßlichen Darstellung des Wissenswertesten aus der Astronomie von

Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann

Mit 73 Abbildungen. Gebunden M. 6.—

„‚Begeisterung für das Überirdische können wir in einer Zeit, wo alles Irdische zu versagen scheint, gewiß brauchen'. Mit diesem Ausspruch schließt der Herausgeber das kurze Vorwort zu seiner Himmelskunde, einem streng sachlich, schlicht und einfach gehaltenen Büchlein, das in der Tat dazu angetan ist, bei jedem, der die Welt außerhalb unsrer eigenen Wohnstätte, der Erde, kennen lernen will, Begeisterung zu erwecken. Ist auch bei dem knappen Umfang der Schrift d. Hauptgewicht auf die Schilderung unseres Planetensystems gelegt, so wird dem Leser doch noch der Blick in größere Fernen, in das gestirnte All, eröffnet. Die Sprache ist jedem Gebildeten verständlich, die Darstellung überall klar und alles Wesentliche umfassend, so daß es dem Laien als ein vortrefflicher Führer in das große Reich der Himmelsforschung dienen wird. Zur Erläuterung sind durchweg ausgezeichnete Bilder beigefügt, unter denen eine gute Mondkarte allen sehr willkommen sein wird. Für eine gediegene Ausstattung hat die Verlagsanstalt gesorgt." (Astronom. Zeitschrift)

Komet Daniel

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Hevelius

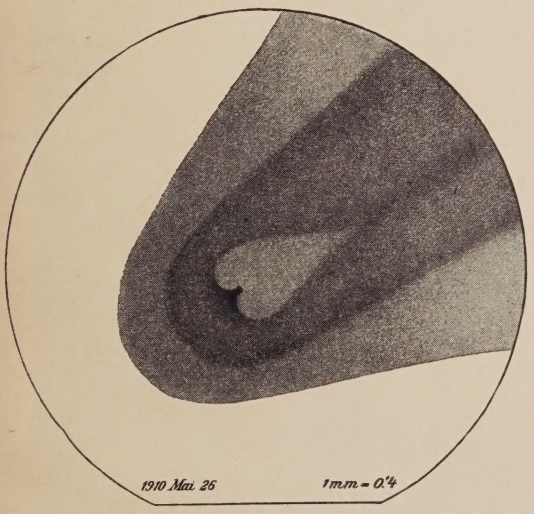
Handbuch für Freunde der Astronomie und kosmischen Physik

In Verbindung mit
Friedrich Albrecht, Friedrich Becker, Theobald Epstein, Philipp Fauth, Johannes Hellerich, Cuno Hoffmeister, Christian Jensen, Otto Knopf, Hans Kolbow, Martin Lindow, Heinrich Osthoff und Ernst Schulz herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann

Mit vielen Abbildungen. XIX und 672 Seiten
M. 12.—, gebunden M. 15.—

„Den zahlreichen Freunden der Himmelskunde wird hier ein allen modernsten Ansprüchen genügendes umfassendes Handbuch dargeboten: Die mathematischen Grundlagen der astronomischen Berechnungen und diese selbst, die Beobachtungen der Gestirne, die Astrospektroskopie, die Einrichtung der Sternwarten, die astronomischen Instrumente inkl. der geometrischen Optik, die Zeitmessung, die Himmelsphotographie, Finsternisse, veränderliche Sterne, dazu die Übersicht über das gesamte Gebiet der Geophysik, nichts Einschlägiges ist vergessen. So vermag das eine Buch eine kleine astronomische Bibliothek zu ersetzen. Der Name Plassmann bürgt für die Hochwertigkeit des Inhalts.“ (Natur und Kultur)



Lichtausströmung aus dem Halleyschen Kometen

„... Ein grandioses Werk, eine der bedeutendsten Erscheinungen unserer Literatur in schöner Ausstattung!“ (Literar. Handweiser)

„Die Darstellung des praktischen Teils ist ganz ausgezeichnet und von einer erstaunlichen Fülle des Gebotenen. Man merkt überall den erfahrenen Beobachter, der aus reichen Kenntnissen schöpft ... Viele Quellenangaben und Hilfstafeln machen das Werk überaus brauchbar und jeder Besitzer von kleineren Instrumenten wird damit mit einiger Ausdauer Brauchbares zu leisten imstande sein; also eine höchst wertvolle Gabe des im Dienst seiner Wissenschaft ergrauten Herausgebers.“ (Unsere Welt)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Eine Fahrt durch die Sonnenwelt

Astronomische Unterhaltungen von

Dr. Friedrich Becker

Mit 29 Abbildungen im Text. Geb. M. 3.50

Inhalt: 1. Geschwister der Erde / 2. Das Reich der Sonne / 3. Der Doppelstern Erde-Mond / 4. Auf der Fahrt zum Monde / 5. Eine tote Welt / 6. Aus der Vergangenheit unseres Trabanten / 7. Eine Reisebegegnung / 8. Planet Venus in Sicht / 9. Der Sonne entgegen / 10. Eine leuchtende Gaskugel / 11. Der Planet Merkur / 12. Ein Blick auf den Mars / 13. Im Planetoiden-Gürtel / 14. Das Jupiter-System / 15. Geheimnisse des Riesenplaneten / 16. Kometenschicksal / 17. Die Wunderwelt des Saturn / 18. Uranus / 19. Im Dämmerlicht des Neptuntages / 20. An den Grenzen der Sonnenwelt.

Protuberanzen am Sonnenrande

„Der Verfasser wendet sich in seinem kleinen Buche an einen Leserkreis, in dem nur Volksschulbildung vorausgesetzt werden darf, und führt ihn in 20 Kapiteln, die nicht im trockenen Tone der gelehrten Welt, sondern in der lebhaften, abwechslungs- und bilderreichen Sprache des interessanten Erzählers geschrieben sind, durch unser Sonnensystem und berichtet über die Kenntnisse, die wir über die Bewegungs-, die Licht- und Wärmeverhältnisse, die gegenseitigen Beziehungen, die äußere Gestaltung und den inneren Aufbau der zum Sonnensystem im engeren und weiteren Sinne gehörenden Körper zurzeit wissen. Die Belehrung steht durchaus im Einklang mit dem derzeitigen Stande der Wissenschaft.“ (Astronomische Nachrichten)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Aus den Tiefen des Raumes

Der astronomischen Unterhaltungen zweiter Teil von

Dr. Friedrich Becker

Mit 33 Abbild. im Text und einer Sternkarte. Geb. M. 3.50

Inhalt: 1. Eine Sternennacht / 2. Die Arbeitsstätte des Astronomen / 3. Die Sternbilder / 4. Ferne Welten / 5. Mit Prisma und Kamera / 6. Vom Lebenslauf der Sterne / 7. Alles fließt / 8. Das Rätsel der veränderlichen Sterne / 9. Doppelsternsysteme / 10. Die Welt der Sternhaufen / 11. Kosmische Staubwolken / 12. Weltkatastrophen / 13. Leuchtende Nebel / 14. Am Gipfelpunkt der Sternentwicklung / 15. Die Milchstraße / 16. Die beiden Magellanschen Wolken / 17. Unser Sternsystem / 18. Weltinseln / 19. Schlußbetrachtung.

„Was mancher Naturfreund gesucht haben wird, bieten die beiden inhaltreichen Bändchen: Eine dem heutigen Stande der Wissenschaft angepaßte erschöpfende Himmelskunde in allgemeinverständlicher, lebendiger Darstellung, durch reichliches und vorzügliches Bildmaterial wirksam unterstützt und ergänzt, die das vermittelt, was der Gebildete von den Grundbegriffen der Sternkunde wissen sollte und der Naturfreund zu wissen wünscht . . .“

(Hans. Bücherbote)

Kosmische Wolke in der Milchstraße

„In 19 Abschnitten werden Ergebnisse der Fixsternforschung der letzten Jahrzehnte in glücklicher Auswahl und mit großem Geschick dargestellt. Kenntnisse werden so gut wie gar nicht vorausgesetzt, und doch gelingt es dem Verfasser, in kurzer anschaulicher Schilderung den Leser bis zum Verständnis von Zusammenhängen zu führen, die man keineswegs als leicht erfaßbar bezeichnen kann . . .“ (Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht)

„Allen denen, die der eigene Beruf nur für wenige Stunden des Tages freigibt, will dieses Büchlein etwas von den Früchten wissenschaftlicher Arbeit als Erholung bieten. Die Auswahl und Anordnung des Stoffes und die Form der Darstellung, die sich in leichtem Unterhaltungston bewegt, suchen diesem Ziele zu entsprechen, ohne daß beim Leser irgendwelche Bekanntschaft mit dem Gegenstande, nämlich mit der Welt der Sterne und dem Bau des Universums, vorausgesetzt wird. Gute Abbildungen erleichtern das Verständnis des Gebotenen. Beide Bändchen zusammen bilden — obwohl jedes in sich abgeschlossen — eine vollständige kleine Himmelskunde, die auch die neuesten, nicht immer leicht faßbaren Ergebnisse der Forschung in ansprechender, jedem verständlicher Form darbietet.“ (Magazin für Pädagogik)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

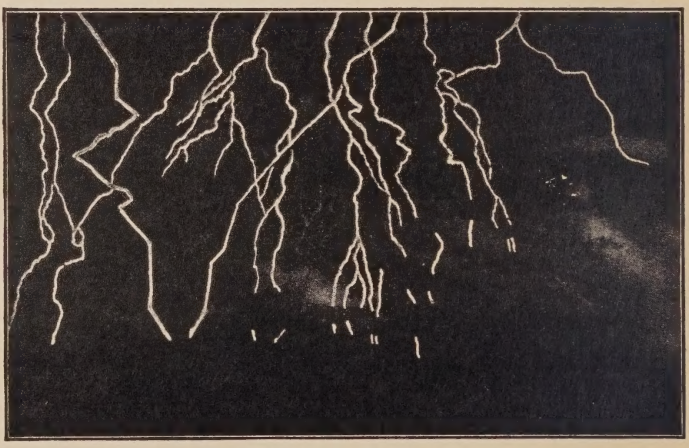
Das Gewitter

Von

Univ.-Prof. Dr. Albert Gockel

3., vielfach geänderte Auflage. Mit 3 Kunstdrucktafeln u. 36 Abbild.
M. 8.—, gebunden M. 11.—

Inhalt: 1. Gewitter und Gewitterwolken / 2. Der Blitz / 3. Kugelblitze / 4. Elmsfeuer / 5. Vulkanische Gewitter / 6. Donner / 7. Wirkungen des Blitzschlages / 8. Die Blitzgefahr und ihre Schwankungen / 9. Blitzableiter / 10. Die atmosphärische und Niederschlags-Elektrizität / 11. Entstehung der Gewitterelektrizität / 12. Entstehung der Gewitterregen / 13. Ausbreitung und Form der Gewitter / 14. Tägliche und jährliche Periode der Gewitter / 15. Säkulare Periode und Zusammenhang der Gewitter mit der Periode der Sonnenflecken / 16. Geographische Verteilung der Gewitter / 17. Der Hagel / 18. Wetterläuten und Hagelschießen / 19. Gewitter und elektrische Wellen in der Atmosphäre / 20. Gewittervorhersage / 21. Über das Photographieren von Blitzen.



Verästelungen des Blitzes

„... Außerordentlich inhaltreich, und es bedarf bei einem mit der Materie so vertrauten Forscher wie Gockel kaum hervorgehoben zu werden, daß in der Darstellung alle wesentlichen Fortschritte, welche sich für eine populäre Wiedergabe eignen, berücksichtigt sind ... Die geschickte Darstellung, der flüssige Stil und die reiche Ausstattung mit guten Bildern machen das Buch an vielen Stellen geradezu zu einem fesselnden Lesestoff, welcher wohl geeignet ist, der Meteorologie neue Freunde zuzuführen." (Meteorolog. Zeitschrift)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Die Himmelswelt

Mitteilungen der „Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik“ (V. A. P.), hrsg. v. Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann

40. Jahrgang (12 Hefte). M. 12.—, für Mitglieder der V. A. P. kostenlos

(Näheres über die Vereinigung sowie Probehefte kostenlos vom Verlag)

Aus dem Inhalt der letzten Hefte:

Leben wir in einem Spiralnebel? (Campbell) / Das Rätsel des Siriusbegleiters (Riem) / Über den „Copernicus“ des Mondes (Fauth) / Photometrisches von dem Planeten Venus (Plassmann) / Das Alter der Erde (Schmiedel) / Über Versuche, die Bewegung der Erde gegenüber dem Weltäther zu bestimmen (König) / Die Bewegung der Erde durch den Weltäther (Riem) / Über unveröffentlichte Apex-Berechnungen von C. F. Gauß (Heckmann) / Neues über das Mira-Problem (Hopmann) / Die Einrichtungen und Arbeiten der Sternwarte Berlin-Babelsberg (Prager) / Das Potsdamer Turm-Teleskop (v. d. Pahlen) / Das Russel-Diagramm und die Kosmogonie (Hopmann) / Läßt sich die Hemisphäre in einer Aufnahme voll erfassen? (Wiedemann) / Ortsbestimmungsmethoden in der Luft und auf See (Perlewitz) / Die Größenklassen der Fixsterne (Osthoff) / Neues über Kepler (Plassmann) / Das neue Zeiss-Planetarium (Gehne) / Eine deutsche Sternwarte in Südamerika, Reise- und Forschungsbericht (Becker) / Über Fundamentalkataloge und ihre systematischen Fehler (Schaub) / Eine neue Strahlungsart der Sonne? (Osthoff) / Über einige Lösungen des Dreikörper-Problems (Sticker) / Die Veränderlichkeit der Erdrotation (Larink) / Der Siriusbegleiter (Siedentopf) / Die Dämmerungserscheinungen (Jensen) / Die Methoden zur Bestimmung der Parallaxe eines Fixsternes (Schaub) / Newton (Sticker) / Sternschnuppen und Wetter (Osthoff) / Mondphotographie ohne Uhrwerk (Gramatzki) / Ein dunkler Ringnebel (Plassmann) / Die weißen Nebelflecke (Hopmann) / Erlebnisse auf einer Sonnenfinsternis-Expedition nach Lappland (Kienle) / Volkstümliche Astronomie (Douglas Barlow) / Zur Gestaltung des Unterrichts in der Astronomie (Voigts) / Die neuere Entwicklung der kosmischen Physik (Jeans) / Aus der morgenländischen Sternkunde und Sterndeuterei (Plassmann) / Zur Frage der Schwankung der Solarkonstante (Jensen) / Die Beobachtung der Sonne (Strebel) / Verzeichnis heller Nebel für die Sternwarte des Liebhabers (Becker) / Flüssige Sterne (Jeans) / Die äußere Atmosphäre der Sonne (Milne) / Die Mondtemperatur (Marsson) / Spektroskopische Doppelsterne (Beer) / Aus der Geschichte des Meridiankreises (Larink) / Die fliegenden Schatten (M. Wolf) / Die Potsdamer Spektraldurchmusterung (Becker) / Sterntemperaturen (Kienle) / Astronomische Gedenktage (Feldhaus).

Jedes Heft enthält außerdem Mitteilungen aus der astronomischen Welt, bringt laufende Berichte über bevorstehende Himmelserscheinungen und ist mit zahlreichen Abbildungen und Tafeln geschmückt.

Die Freude an der Astronomie. Von Prof. Dr. Wilh. Foerster. 2. Aufl. M. —.30

Eine Dimensionstafel zur Veranschaulichung der Größenverhältnisse aller Weltobjekte. Von Prof. Dr. Oswald Thomas. M. 1.50.

Astronomische Erdkunde. Ein Lehrbuch angewandter Mathematik. Von Prof. H. C. E. Martus. Kleine Ausgabe. 3. Aufl. Mit 71 Fig. M. 4.—, geb. M. 5.—

Mathematische Aufgaben zum Gebrauch in den obersten Klassen höherer Lehranstalten. Von Prof. H. C. E. Martus. Aus den bei Reifeprüfungen gestellten Aufgaben ausgewählt und zu einem Übungsbuch vereint.

I. Teil: Aufgaben. 14. Aufl. Geb. M. 4.—. II. Teil: Ergebnisse dazu. 14. Aufl. Geb. M. 5.20. III. Teil: Aufgaben. 5. Aufl. Geb. M. 4.60. IV. Teil: Ergebnisse dazu. 4. Aufl. Geb. M. 5.60

Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1931. Hrsg. v. Astronomischen Recheninstitut zu Berlin. 156. Jg. M. 12.—

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Himmels-Almanach

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr. J. Plassmann

Mit Sonnenfinsternis-Karten sowie Tafeln für die Monde der Planeten

Jeder Jahrgang M. 3.50

(Erscheint jeweils im Herbst für das folgende Jahr)

„Das jährlich erscheinende Handbüchlein ist für Liebhaberastronomen bestimmt, die im Besitz kleinerer Fernrohre oder guter Feldstecher sind. Er enthält Sonnen- und Mondephemeriden für jeden europäischen Mittag, für den Mond auch noch zwei für Mitternacht geltende Zahlen, ferner Angaben über die Planeten, Fixsterne, Jupitermonde, Venusphasen usw. Der Almanach ist auch für den Lehrer ein brauchbares Nachschlagewerk". (Unsere Welt)

„Der Himmels-Almanach will dem mit Fernrohr oder Feldstecher ausgerüsteten Himmelsbeobachter mit zahlenmäßigen Angaben über alle im Laufe des Jahres bevorstehenden Himmelserscheinungen behilflich sein. Außer einer ausführlichen Sonnen- und Mondephemeride zur bequemen Zeitbestimmung und für die Zwecke der meteorologischen Optik enthält der Almanach Angaben über die Orte der helleren Planeten oder hellsten Fixsterne, des Auf- und Unterganges der Planeten, weiter über den Mond, über die Stellung, die Verfinsterungen und Bedeckungen der Jupitermonde, über die Konstellationen der Planeten, die Ringe des Saturn, die Rotationsphasen von Mars und Sonne, die Sichelgestalt der Venus, die Planeten Uranus und Neptun, die Finsternisse usw. Das wertvolle Kartenmaterial bringt eine Darstellung der Sonnenfinsternis sowie Tafeln der Planetenmonde. Liebhaberastronomen und Schulen werden gern zu diesem inhaltreichen Nachschlagewerk greifen, um das umfangreiche, wissenschaftlich durchgearbeitete Zahlenmaterial zu Rate zu ziehen." (Stein der Weisen)

„Ein kleines astronomisches Jahrbuch gehört in die Bücherei jeder Schule als bestes (und billigstes) Hilfsmittel zur Belebung und Vertiefung des Unterrichts in der mathematischen Geographie. Das Erscheinen eines neuen, zunächst für den Kreis der ernsthaft arbeitenden Liebhaberastronomen bestimmten, damit aber auch den Bedürfnissen der Schule entsprechenden derartigen Werkes ist daher sehr zu begrüßen, und Prof. Plassmann, der auch als namhafter Schulmann bekannte Direktor der Universitätssternwarte in Münster, verdient warmen Dank dafür, daß er sich der mühevollen Aufgabe unterzogen hat, in seinem Himmels-Almanach eine zuverlässige, reichhaltige Zusammenstellung der vorausberechenbaren, allgemein interessierenden Himmelserscheinungen zu geben Der außerordentliche, reiche und vielseitige Inhalt des Buches kann hier nur durch einige Stichwörter angedeutet werden: Sonnen- und Mondephemeride, geozentrische und heliozentrische Planetenörter, Oppositionsephemeride des Mars, Auf- und Untergänge, Finsternisse, tägliche Stellung der Jupitermonde, Saturnringephemeride, Fixsternörter, Polarisephemeride, Minima der Sterne vom Algoltypus, Sternbedeckungen u. a. m., dazu einige bildliche Darstellungen. (Geographischer Anzeiger)

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BERLIN SW 68 · GEGRÜNDET 1808

Astron
G

251773

Author Gramatzki, H.J.

Title Hilfsbuch der astronomischen Photographie.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU